segunda
edición

TRANSMISIÓN de DATOS y redes de COMUNICACIONES

Behrouz A. FOROUZAN

Este texto proporciona una excelente introducción a las tecnologías de redes, que cada vez van adquiriendo mayor importancia. Los conceptos básicos de redes se tratan de forma muy pedagógica, y están totalmente actualizados, lo que hace que este texto resulte una excelente elección, tanto para su uso en docencia como para los profesionales. Sus aspectos más destacados son:

- Utilización de los siete niveles del modelo OSI, para que el estudiante pueda comprender los conceptos básicos de la arquitectura de redes. Tras presentar una visión general sobre los conceptos más importantes, dedica dos capítulos a hablar específicamente del protocolo TCP/IP.
- El texto contiene aproximadamente 700 figuras que ilustran los conceptos de nivel técnico alto. Esta aproximación visual, combinada con explicaciones intuitivas, permite el uso limitado de ecuaciones y algoritmos complejos, haciendo que el libro sea accesible para el usuario que no disponga de una sólida formación técnica.
- Ejemplos de trabajo a lo largo del texto, que facilitan la aplicación de los conceptos adquiridos.
- Más de 1.700 preguntas al final de cada capítulo, incluidas en los apartados de **Material práctico**, divididas en varias categorías: preguntas de revisión, con respuesta múltiple y ejercicios que requieren más esfuerzo. De esta forma, el profesor tiene suficiente material para elegir y los estudiantes tienen la oportunidad de practicar.
- Cobertura de temas actuales. Contiene material muy actual como el tratamiento de Ipv6, módems de 56k, Ethernet conmutada, gigabit Ethernet, protocolo punto a punto, control de tráfico, tecnología de línea de abonado digital (ADSL) y de fibra hasta la acera (FTTC).

Una página web muy completa, localizada en la dirección: **http://www.mhhe.com/forouzan**, que contiene transparencias en PowerPoint a color, aproximadamente 2.000 preguntas tipo test para que practiquen los estudiantes, figuras animadas (Flash) que pertenecen al libro, y soluciones protegidas por contraseñas para los profesores.



McGraw-Hill Interamericana de España, S.A.U.
A Subsidiary of The McGraw-Hill Companies

http://www.mcgraw-hill.es

ISBN: 84-481-3390-0

segunda
edición

TRANSMISIÓN de DATOS y redes de COMUNICACIONES

FOROUZAN

Mc Graw Hill

TRANSMISIÓN de DATOS y redes de COMUNICACIONES

Behrouz A. FOROUZAN

Mc Graw Hill

segunda
edición

TRANSMISIÓN DE DATOS Y REDES DE COMUNICACIONES

Segunda edición

TRANSMISIÓN DE DATOS Y REDES DE COMUNICACIONES

Segunda edición

Behrouz A. Forouzan

DeAnza College

con

Catherine Coombs y Sophia Chung Fegan

Traducción
Jesús Carretero Pérez
Félix García Carballeira
Universidad Carlos III de Madrid

Revisión Técnica
Alberto Prieto Espinosa
Universidad de Granada



MADRID • BUENOS AIRES • CARACAS • GUATEMALA • LISBOA • MÉXICO
NUEVA YORK • PANAMÁ • SAN JUAN • SANTAFÉ DE BOGOTÁ • SANTIAGO • SÃO PAULO
AUCKLAND • HAMBURGO • LONDRES • MILÁN • MONTREAL • NUEVA DELHI • PARÍS
SAN FRANCISCO • SIDNEY • SINGAPUR • ST. LUIS • TOKIO • TORONTO

Con amor a Faezeh

Transmisión de datos y redes de comunicaciones. Segunda edición

Edificio Valrealty, 1.ª planta
Basauri, 17
28023 Aravaca (Madrid)

Traducido de la segunda edición en inglés de
DATA COMMUNICATIONS AND NETWORKING
ISBN: 0-07-232204-7

ISBN: 84-481-3390-0
Depósito Legal: M-21.812-2002

Editora: Concepción Fernández Madrid
Asist. Editorial: Amelia Nieva
Diseño cubierta: Grupo Adrizar, S. L.
Compuesto en MOIRE Composición, S. L.
Impreso en Cofás, S. A.

IMPRESO EN ESPAÑA - PRINTED IN SPAIN

CONTENIDO BREVE

Contenido ix

Preámbulo xxvii

Capítulo 1. Introducción 1

Capítulo 2. Conceptos básicos 21

Capítulo 3. El modelo OSI 41

Capítulo 4. Señales 61

Capítulo 5. Codificación y modulación 85

Capítulo 6. Transmisión de datos digitales: interfaces y módems 133

Capítulo 7. Medios de transmisión de datos 181

Capítulo 8. Multiplexación 223

Capítulo 9. Detección y corrección de errores 263

Capítulo 10. Control de enlace de datos 289

Capítulo 11. Protocolos de enlace de datos 318

Capítulo 12. Redes de área local 355

Capítulo 13. Redes de área metropolitana 397

Capítulo 14. Conmutación 413

Capítulo 15. Protocolo punto a punto (PPP) 437

Capítulo 16. Red digital de servicios integrados (RDSI) 453

Capítulo 17. X.25 487

Capítulo 18. *Frame Relay* (Retransmisión de tramas) 507

Capítulo 19. ATM 533

Capítulo 20. SONET/SDH 573

Capítulo 21. Dispositivos de red y de interconexión de redes 593

Capítulo 22. Nivel de transporte 629

Capítulo 23. Niveles superiores del modelo OSI 647

Capítulo 24. Conjunto de protocolos TCP/IP: parte 1 681

Capítulo 25. Conjunto de protocolos TCP/IP: parte 2, el nivel de aplicación 711

Apéndice A. Código ASCII 749

Apéndice B. Sistemas de numeración y transformación 755

Apéndice C. Representación de números binarios 763

Apéndice D. Análisis de Fourier 771

Apéndice E. Equipos hardware para detección de errores 775

Apéndice F. Códigos de Huffman 781

Apéndice G. Método de compresión LZW (Lempel-Ziv-Welch) 787

Apéndice H. Siguiente generación de TCP/IP Conjunto de protocolo: IPv6 e ICMPv6 795

Apéndice I El árbol de expansión 809

Glosario 815

Bibliografía 847

Índice 849

CONTENIDO

Preámbulo xxvii

Capítulo 1 Introducción 1

1.1. ¿Por qué estudiar transmisión de datos? 1
1.2. Transmisión de datos 3
 Componentes 3
1.3. Redes 4
 Procesamiento distribuido 4
 Criterios de redes 5
 Aplicaciones 7
1.4. Protocolos y estándares 8
 Protocolos 8
 Estándares 9
1.5. Organizaciones de estandarización 10
 Comités de creación de estándares 10
 Foros 12
 Agencias reguladoras 13
1.6. Estructura del libro 14
1.7. Términos y conceptos clave 14
1.8. Resumen 15
1.9. Material práctico 15
 Preguntas de revisión 15
 Preguntas con respuesta múltiple 16
 Ejercicios 18

Capítulo 2 Conceptos básicos 21

2.1. Configuración de la línea 21
 Punto a punto 21
 Multipunto 22
2.2. Topología 22
 Malla 23
 Estrella 25
 Árbol 25
 Bus 26
 Anillo 27
 Topologías híbridas 28

2.3. Modo de transmisión 28
Símplex 28
Semidúplex 29
Full-dúplex 30
2.4. Clases de redes 30
Red de área local (LAN) 31
Redes de área metropolitana (MAN) 32
Red de área amplia (WAN) 32
2.5. Interconexión de redes 33
2.6. Términos y conceptos clave 34
2.7. Resumen 34
2.8. Material práctico 35
Preguntas de revisión 35
Preguntas con respuesta múltiple 35
Ejercicios 37

Capítulo 3 El modelo OSI 41
3.1. El modelo 41
Arquitectura por niveles 41
3.2. Funciones de los niveles 45
Nivel físico 45
Nivel de enlace de datos 46
Nivel de red 47
Nivel de transporte 48
Nivel de sesión 51
Nivel de presentación 51
Nivel de aplicación 53
Resumen de las funciones de los niveles 54
3.3. Familia de protocolos TCP/IP 54
3.4. Términos y conceptos clave 55
3.5. Resumen 56
3.6. Material práctico 56
Preguntas de revisión 56
Preguntas con respuesta múltiple 57
Ejercicios 60

Capítulo 4 Señales 61
4.1. Analógico y digital 61
Datos analógicos y digitales 62
Señales analógicas y digitales 62
4.2. Señales periódicas y aperiódicas 62
Señales periódicas 63
Señales aperiódicas 64
4.3. Señales analógicas 64
Señales analógicas simples 64
4.4. Dominios del tiempo y de la frecuencia 70

4.5. Señales compuestas 71
Espectro de frecuencia y ancho de banda 73
4.6. Señales digitales 74
Descomposición de una señal digital 76
4.7. Términos y conceptos clave 77
4.8. Resumen 77
4.9. Material práctico 78
Preguntas de revisión 78
Preguntas con respuesta múltiple 79
Ejercicios 81

Capítulo 5 Codificación y modulación 85
5.1. Conversión digital a digital 86
Unipolar 87
Polar 88
Bipolar 91
5.2. Conversión de analógico a digital 96
Modulación por amplitud de pulsos (PAM) 96
Modulación por codificación en pulsos (PCM) 97
Frecuencia de muestreo 98
¿Cuántos bits por muestra? 100
Tasa de bits 100
5.3. Conversión de digital a analógico 101
Aspectos de la conversión de digital a analógico 102
Modulación por desplazamiento de amplitud (ASK) 103
Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK) 106
Modulación por desplazamiento de fase (PSK) 107
Modulación de amplitud en cuadratura (QAM) 111
Comparación bit/baudio 112
5.4. Conversión de analógico a analógico 114
Modulación en amplitud (AM) 114
Modulación en frecuencia (FM) 117
Modulación en fase (PM) 119
5.5. Términos y conceptos clave 119
5.6. Resumen 120
5.7. Material práctico 121
Preguntas de revisión 121
Preguntas con respuesta múltiple 122
Ejercicios 126

Capítulo 6 Transmisión de datos digitales: interfaces y módems 133
6.1. Transmisión de datos digitales 133
Transmisión paralela 133
Transmisión serie 135
6.2. Interfaz DTE-DCE 137
Equipo terminal de datos (DTE) 137
Equipo terminal del circuito de datos (DCE) 138

Estándares 139
Interfaz EIA-232 139
6.3. Otros estándares de interfaces 146
EIA-449 146
EIA-530 152
X.21 152
6.4. Módems 153
Tasa de transmisión 154
Estándares para módems 158
Módems de 56K 165
Módems tradicionales 165
Módems de 56K 166
¿Por qué sólo 56Kbps? 168
6.5. Módem de cable 168
Descarga de datos 169
Carga de datos 169
6.6. Términos y conceptos clave 169
6.7. Resumen 170
6.8. Material práctico 171
Preguntas de revisión 171
Preguntas con respuesta múltiple 172
Ejercicios 178

Capítulo 7 Medios de transmisión de datos 181
7.1. Medios guiados 181
Cable de par trenzado 182
Cable coaxial 186
Fibra óptica 187
7.2. Medios no guiados 194
Asignación de radio frecuencia 194
Propagación de las ondas de radio 194
Microondas terrestres 199
Comunicación vía satélite 200
Telefonía celular 202
7.3. Deterioro de la transmisión 205
Atenuación 205
Distorsión 207
Ruido 208
7.4. Prestaciones 208
Rendimiento 208
Velocidad de propagación 208
Tiempo de propagación 209
7.5. Longitud de onda 209
7.6. Capacidad de Shannon 210
7.7. Comparación de medios 211
7.8. Términos y conceptos clave 212
7.9. Resumen 212

7.10. Material práctico 215
Preguntas de revisión 215
Preguntas con respuesta múltiple 216
Ejercicios 221

Capítulo 8 Multiplexación 223
8.1. Muchos a uno / uno a muchos 224
8.2. Multiplexación por división de frecuencia (FDM) 224
8.3. Multiplexación por división de onda (WDM) 227
8.4. Multiplexación por división del tiempo (TDM) 228
Multiplexación inversa 236
8.5. Aplicación de la multiplexación: el sistema telefónico 237
Servicios portadores comunes y jerarquías 237
Servicios analógicos 239
Servicios digitales 240
8.6. Línea de abonado digital (DSL) 246
ADSL 246
RADSL 248
HDSL 248
SDSL 249
VDSL 249
8.7. FTTC 249
FTTC en la red telefónica 250
FTTC en la red de TV por cable 250
8.8. Términos y conceptos clave 250
8.9. Resumen 251
8.10. Material práctico 253
Preguntas de revisión 253
Preguntas con respuesta múltiple 253
Ejercicios 257

Capítulo 9 Detección y corrección de errores 263
9.1. Tipos de errores 263
Error de bit 263
Error de ráfaga 264
9.2. Detección 265
Redundancia 265
9.3. Verificación de redundancia vertical (VRC) 267
9.4. Verificación de redundancia longitudinal (LRC) 268
9.5. Verificación de redundancia cíclica (CRC) 270
Prestaciones 273
9.6. Sumas de comprobación 274
9.7. Corrección de errores 276
Corrección de errores en un único bit 277
Código Hamming 278
Corrección de errores de ráfaga 281
9.8. Términos y conceptos clave 282

9.9. Resumen 282
9.10. Material práctico 283
Preguntas de revisión 283
Preguntas con respuesta múltiple 283
Ejercicios 286

Capítulo 10 Control de enlace de datos 289
10.1. Disciplina de línea 290
ENQ/ACK 290
Sondeo/selección 291
10.2. Control de flujo 295
Parada y espera 295
Ventana deslizante 296
10.3. Control de errores 300
Petición de repetición automática (ARQ, *Automatic Repeat Request*) 300
Parada y espera con ARQ 300
Ventana deslizante con ARQ 302
10.4. Términos y conceptos clave 309
10.5. Resumen 309
10.6. Material práctico 310
Preguntas de revisión 310
Preguntas con respuesta múltiple 311
Ejercicios 314

Capítulo 11 Protocolos de enlace de datos 317
11.1. Protocolos asíncronos 317
XMÓDEM 317
YMÓDEM 319
ZMÓDEM 319
BLAST 319
Kermit 319
11.2. Protocolos síncronos 320
11.3. Protocolos orientados a carácter 320
Comunicación síncrona binaria (BSC) 321
Tramas BSC 321
Transparencia de datos 326
11.4. Protocolos orientados a bit 327
HLDC 328
Tramas 330
Más sobre tramas 337
Ejemplos 342
11.5. Procedimientos de acceso al enlace 345
LAPB 345
LAPD 346
LAPM 346
11.6. Términos y conceptos clave 346
11.7. Resumen 347

11.8. Material práctico 348
Preguntas de revisión 348
Preguntas con respuesta múltiple 349
Ejercicios 351

Capítulo 12 Redes de área local 355
12.1. Proyecto 802 355
IEEE 802.1 357
LLC 357
MAC 357
Unidad de datos del protocolo (PDU) 357
12.2. Ethernet 358
Método de acceso: CSMA/CD 359
Direccionamiento 360
Especificación eléctrica 361
Formato de trama 361
Implementación 362
12.3. Otras redes Ethernet 366
Ethernet conmutada 367
Fast Ethernet 368
Gigabit Ethernet 371
12.4. Bus con paso de testigo 372
12.5. Red en anillo con paso de testigo 372
Método de acceso: paso de testigo 373
Direccionamiento 375
Especificaciones eléctricas 375
Formatos de tramas 375
Implementación 378
12.6. FDDI 379
Método de acceso: paso de testigo 380
Direccionamiento 383
Especificación eléctrica 383
Formato de trama 383
Implementación: nivel dependiente del medio físico (PMD) 386
12.7. Comparación 388
12.8. Términos y conceptos clave 388
12.9. Resumen 389
12.10. Material práctico 391
Preguntas de revisión 391
Preguntas con respuesta múltiple 391
Ejercicios 395

Capítulo 13 Redes de área metropolitana 397
13.1. IEEE 802.6 (DQDB) 397
Método de acceso: bus dual 397
Colas distribuidas 400
Configuración en anillo 403

Funcionamiento: niveles en DQDB 403
Implementación 404
13.2. SMDS 405
Arquitectura del SMDS 405
Características 407
13.3. Términos y conceptos clave 408
13.4. Resumen 408
13.5. Material práctico 409
Preguntas de revisión 409
Preguntas con respuesta múltiple 409
Ejercicios 411

Capítulo 14 Conmutación 413
14.1. Conmutación de circuitos 414
Conmutadores por división en el espacio 416
Conmutadores por división en el tiempo 419
Bus TDM 420
Combinaciones de conmutación por división en el tiempo y en el espacio 420
Red telefónica conmutada 421
14.2. Conmutación de paquetes 423
Enfoque basado en datagramas 424
Enfoque basado en circuitos virtuales 425
14.3. Conmutación de mensajes 427
14.4. Términos y conceptos clave 430
14.5. Resumen 430
14.6. Material práctico 431
Preguntas de revisión 431
Preguntas con respuesta múltiple 432
Ejercicios 434

Capítulo 15 Protocolo punto a punto (PPP) 437
15.1. Transición de estados 437
15.2. Niveles del protocolo PPP 438
Nivel físico 439
Nivel de enlace de datos 439
15.3. Protocolo de control de enlace (LCP) 440
Paquetes del protocolo LCP 440
Opciones 442
15.4. Autenticación 442
PAP 443
CHAP 443
15.5. Protocolo de control de red (NCP) 445
IPCP 445
Otros protocolos 446
15.6. Ejemplo 447
15.7. Términos y conceptos clave 446

15.8. Resumen 448
15.9. Material práctico 449
Preguntas de revisión 449
Preguntas con respuesta múltiple 449
Ejercicios 451

Capítulo 16 Red digital de servicios integrados (RDSI) 453
16.1. Servicios 453
Servicios portadores 453
Teleservicios 453
Servicios suplementarios 454
16.2. Historia 454
Comunicación de voz sobre redes analógicas 454
Comunicación de datos y voz a través de redes analógicas 454
Servicios digitales y analógicos a los abonados 455
Red digital integrada (RDI) 455
Red digital de servicios integrados (RDSI) 456
16.3. Acceso del abonado a la RDSI 457
Canales B 458
Canales D 458
Canales H 458
Interfaces de usuario 458
Agrupaciones funcionales 460
Puntos de referencia 462
16.4. Niveles de la RDSI 462
Nivel físico 464
Nivel de enlace de datos 470
Nivel de red 471
16.5. RDSI de banda ancha 474
Servicios 475
Especificaciones físicas 477
16.6. Futuro de la RDSI 477
16.7. Términos y conceptos clave 477
16.8. Resumen 479
16.9. Material práctico 480
Preguntas de revisión 480
Preguntas con respuesta múltiple 481
Ejercicios 484

Capítulo 17 X.25 487
17.1. Niveles de X.25 488
Nivel físico 488
Nivel de trama 488
Nivel de paquetes 490
Paquetes del protocolo PLP 493
17.2. Otros protocolos relacionados con X.25 498
Protocolo X.121 498

Protocolos triple X 499
17.3. Términos y conceptos clave 500
17.4. Resumen 500
17.5. Material práctico 501
Preguntas de revisión 501
Preguntas con respuesta múltiple 501
Ejercicios 503

Capítulo 18 *Frame Relay* (Retransmisión de tramas) 507
18.1. Introducción 507
Ventajas 510
Desventajas 510
Papel de *Frame Relay* 511
18.2. Funcionamiento de *Frame Relay* 511
Circuitos virtuales 512
DLCI dentro de la red 514
Conmutadores 514
18.3. Niveles en *Frame Relay* 515
Nivel físico 516
Nivel de enlace de datos 516
18.4. Control de congestión 517
Elusión de congestión 518
Descarte 518
18.5. Algoritmo del cubo con escape 519
18.6. Control de tráfico 522
Velocidad de acceso 522
Tamaño de la ráfaga comprometido 523
Velocidad de información comprometida 523
Tamaño de ráfaga en exceso 524
Velocidad del usuario 524
18.7. Otras características 524
Direcciones ampliadas 525
Ensamblador/ desensamblador en *Frame Relay* 525
Voz a través de *Frame Relay* 526
Información de gestión local 526
18.8. Términos y conceptos clave 526
18.9. Resumen 526
18.10. Material práctico 527
Preguntas de revisión 527
Preguntas con respuesta múltiple 528
Ejercicios 531

Capítulo 19 ATM 533
19.1. Objetivos de diseño 533
Redes de paquetes 534
Tráfico de red mixto 534
Redes basadas en celdas 535

TDM asíncrono 536
19.2. Arquitectura de ATM 537
Conexión virtual 537
Identificadores 538
Celdas 539
Establecimiento y liberación de la conexión 539
19.3. Conmutación 541
Conmutador VP 541
Conmutador VPC 542
19.4. Tipos de conmutadores 543
Conmutador de barras cruzadas 543
Conmutador eliminatorio 544
Conmutador Banyan 544
Conmutador Batcher- Banyan 545
19.5. Niveles de ATM 547
Nivel de adaptación de la aplicación (AAL) 547
Nivel ATM 554
Nivel físico 556
19.6. Clases de servicios 556
Calidad de servicio 558
Descriptores de tráfico 559
19.7. Aplicaciones de ATM 559
WAN con ATM 559
LAN con ATM 559
LANE 561
19.8. Términos y conceptos clave 562
19.9. Resumen 563
19.10. Material práctico 564
Preguntas de revisión 564
Preguntas con respuesta múltiple 565
Ejercicios 569

Capítulo 20 SONET/SDH 573
20.1. Señales de transporte síncronas 574
20.2. Configuración física 575
Dispositivos SONET 575
Secciones, línea y caminos 576
20.3. Niveles de SONET 577
Nivel fotónico 577
Nivel de sección 577
Nivel de línea 578
Nivel de camino 578
20.4. Tramas de SONET 578
Formato de la trama 579
Sobrecarga de sección 580
Sobrecarga de la línea 581

Sobrecarga del camino 582
Cargas tributarias virtuales 583
Tipos de VT 584
20.5. Multiplexación de tramas STS 585
Convergencia de ATM a SONET/SDH 585
20.6. Aplicaciones 586
20.7. Términos y conceptos clave 586
20.8. Resumen 587
20.9. Material práctico 587
Preguntas de revisión 587
Preguntas con respuesta múltiple 588
Ejercicios 590

Capítulo 21 Dispositivos de red y de interconexión de redes 593
21.1. Repetidores 594
No es un amplificador 596
21.2. Puentes 596
Tipos de puentes 598
Puentes conectados a LAN diferentes 600
21.3. Encaminadores 600
Conceptos de encaminamiento 602
21.4. Pasarelas 604
21.5. Otros dispositivos 605
Encaminadores multiprotocolo 605
Puentes/encaminadores 606
Conmutadores 607
Conmutadores de encaminamiento 608
21.6. Algoritmos de encaminamiento 608
21.7. Encaminamiento basado en el vector distancia 608
Compartir información 609
Tablas de encaminamiento 610
21.8. Encaminamiento basado en el enlace 614
Compartir información 614
El algoritmo de Dijkstra 618
21.9. Términos y conceptos clave 621
21.10. Resumen 621
21.11. Material práctico 622
Preguntas de revisión 622
Preguntas con respuesta múltiple 623
Ejercicios 626

Capítulo 22 Nivel de transporte 629
22.1. Servicios del nivel de transporte 630
Entrega extremo a extremo 630
Direccionamiento 631
Entrega fiable 632

Control de flujo 635
Multiplexación 636
22.2. Conexión 638
Establecimiento de la conexión 638
Terminación de la conexión 639
22.3. El protocolo de transporte del modelo OSI 639
Clases de transporte 639
Unidad de datos del protocolo de transporte (TPDU) 640
Servicios orientados a conexión y servicios no orientados a conexión 641
22.4. Términos y conceptos clave 643
22.5. Resumen 643
22.6. Material práctico 644
Preguntas de revisión 644
Preguntas con respuesta múltiple 644
Ejercicios 646

Capítulo 23 Niveles superiores del modelo OSI 647
23.1. Nivel de sesión 647
Interacción entre el nivel de sesión y el nivel de transporte 648
Puntos de sincronización 649
Unidad de datos del protocolo de sesión 650
23.2. Nivel de presentación 651
Traducción 651
Cifrado/descifrado 652
Autenticación 663
Compresión de datos 664
23.3. Nivel de aplicación 666
Sistema de gestión de mensajes (MHS) 666
Transferencia, acceso y gestión de archivos (FTAM) 667
Terminal virtual (VT) 669
Servicio de directorios (DS) 671
Protocolo común de gestión de información (CMIP) 671
23.4. Términos y conceptos clave 673
23.5. Resumen 674
23.6. Material práctico 675
Preguntas de revisión 675
Preguntas con respuesta múltiple 676
Ejercicios 679

Capítulo 24 Conjunto de protocolos TCP/IP: parte 1 681
24.1. Visión de TCP/IP 681
TCP IP / e Internet 681
TCP IP y OSI 682
Encapsulado 682
24.2. Nivel de red 682
Protocolo IP 683

24.3. Direccionamiento 685
Clases 686
Notación decimal-punto 687
Nodos con más de una dirección 689
Una Internet de ejemplo 689
24.4. Subredes 690
Tres niveles de jerarquía 692
Enmascaramiento 692
Cómo encontrar la dirección de una subred 692
24.5. Otros protocolos en el nivel de red 695
Protocolo de resolución de direcciones (ARP) 695
Protocolo de resolución inversa de direcciones (RARP) 696
Protocolo de mensajes de control de Internet (ICMP) 696
Protocolo de mensajes de grupos de Internet (IGMP) 697
24.6. Nivel de transporte 697
Protocolo de datagramas de usuario (UDP) 698
Protocolo de control de transmisión (TCP) 699
24.7. Términos y conceptos clave 701
24.8. Resumen 702
24.9. Material práctico 703
Preguntas de revisión 703
Preguntas con respuesta múltiple 704
Ejercicios 706

Capítulo 25 Conjunto de protocolos TCP/IP: parte 2, el nivel de aplicación 711

25.1. Modelo cliente-servidor 711
Cliente 712
Servidor 712
25.2. Protocolo de arranque (BOOTP) y protocolo de configuración dinámica de estación (DHCP) 713
BOOTP 713
DHCP 713
25.3. Sistema de nombres de dominio (DNS) 714
DNS en Internet 714
25.4. TELNET 717
Terminal virtual de red (NVT) 719
25.5. Protocolo de transferencia de archivos (FTP) 720
25.6. Protocolo trivial de transferencia de archivos (TFTP) 721
25.7. Protocolo sencillo de transferencia de correo electrónico (SMTP) 721
Agente de usuario (UA) 723
Direcciones 723
Agente de transferencia de correo (MTA) 724
Ampliaciones multiuso de correo electrónico en Internet (MIME) 725
Protocolo de oficina de correos (POP) 725
25.8. Protocolo sencillo de gestión de red (SNMP) 726

Concepto 726
SMI 728
MIB 728
SNMP 728
25.9. Protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP) 729
Transacción http 730
Mensajes 730
Mensajes de petición 731
Mensajes de respuesta 731
Localizador uniforme de recursos (URL) 731
25.10. World Wide Web (WWW) 732
Hipertexto e hipermedia 733
Arquitectura del navegador 734
Documentos estáticos 735
HTML 735
Documentos dinámicos 737
Interfaz de pasarela común (CGI) 737
Documentos activos 738
Java 739
25.11. Términos y conceptos clave 740
25.12. Resumen 740
25.13. Material práctico 743
Preguntas de revisión 743
Preguntas con respuesta múltiple 743
Ejercicios 748

Apéndice A Código ASCII 749

Apéndice B Sistemas de numeración y transformación 755

B.1 Sistemas de numeración 755
Números decimales 756
Números binarios 756
Números octales 757
Números hexadecimales 758
B.2 Transformación 759
De otros sistemas al sistema decimal 761
Del sistema decimal a otros sistemas 761
De binario a octal o hexadecimal 762
De octal a hexadecimal o binario 762

Apéndice C Representación de números binarios 763

C.1 Números sin signo 763
C.2 Números con signo 764
Signo-magnitud 764
Complemento a uno 766
Complemento a dos 767
C.3 Más sobre el complemento a uno 768
Encontrar el complemento 768

Suma de dos números 769

Apéndice D Análisis de Fourier 771

D.1 Series de Fourier 772
D.2 Transformada de Fourier 774

Apéndice E Equipos hardware para detección de errores 775

E.1 Dispositivos electrónicos 775
Puertas XOR 775
Puertas NOT 775
Registros de desplazamiento 776
E.2 Verificación de redundancia vertical (VRC) 776
Generador VRC 777
Comprobador VRC 777
E.3 Verificación de redundancia longitudinal (LRC) 778
Generador LRC 778
Comprobador LRC 778
E.4 Verificación de redundancia cíclica (CRC) 778
Generador CRC 778
Comprobador CRC 780

Apéndice F Códigos de Huffman 781

F.1 Árbol de caracteres 782
F.2 Asignación de códigos 785
F.3 Codificación 786

Apéndice G Método de compresión LZW (Lempel-Ziv-Welch) 787

G.1 Compresión 787
Diccionario 787
Registro 789
Algoritmo de compresión 789
Ejemplo de compresión 789
G.2 Descompresión 791
Diccionario 791
Registros 791
Algoritmo de descompresión 791
Ejemplo de descompresión 791

Apéndice H Siguiente generación de TCP/IP Conjunto de protocolo: IPv6 e ICMPv6 795

H.1 IPv6 796
Direcciones en IPv6 796
Formato del paquete IPv6 801
H.2 ICMPv6 807

Apéndice I El árbol de expansión 809

I.1 Árbol de expansión y puentes 809

Algoritmo 811
Construcción del árbol de expansión 812
Ejemplo 812
I.2 Árbol de expansión y encaminamiento multidestino 814

Glosario 815

Bibliografía 847

Índice 849

PREÁMBULO

La transmisión de datos y las redes pueden ser las tecnologías con mayor crecimiento en la cultura actual. Una de las consecuencias de este crecimiento es un incremento dramático del número de profesiones en las cuales es esencial conocer estas tecnologías para tener éxito, y un incremento proporcional del número de estudiantes que quieren recibir cursos para conocer estas tecnologías. Actualmente, los estudiantes que quieren conocer los conceptos y los mecanismos subyacentes en las telecomunicaciones y en las redes provienen de una amplia variedad de grupos profesionales y académicos. Para que un libro de texto sobre transmisión de datos y redes sea útil, debe ser accesible a los estudiantes sin conocimientos técnicos al mismo tiempo que debe proporcionar el contenido suficiente para ser útil a los lectores más experimentados. Este texto se ha escrito con esta nueva mezcla de estudiantes en mente.

Características del libro

Las características de este libro se han diseñado para que sea particularmente fácil para los estudiantes comprender la transmisión de datos y las redes.

Estructura

El modelo de los siete niveles OSI se usa como marco para el texto, no sólo porque es esencial tener un conocimiento exhaustivo del modelo para comprender la teoría de redes más moderna, sino también porque se basa en una estructura de interdependencia: cada nivel se construye sobre el nivel inferior y soporta el nivel superior. De la misma forma, cada concepto presentado en este texto se construye sobre conceptos examinados en las secciones previas.

Se eligió el modelo OSI porque es un modelo, no un protocolo. El modelo es independiente de cualquier protocolo como TCP/IP, IPX/SPX (Novell), o Apple Talk. En nuestra opinión, en un curso de introducción se debería comprender el modelo antes de abordar los protocolos reales. El modelo OSI propone una arquitectura por capas muy adecuada para el diseño de los sistemas de redes.

Este texto se ha diseñado para los estudiantes que tienen muy poco o ningún conocimiento previo de telecomunicaciones o transmisión de datos. Por esta razón, se usa la aproximación de abajo hacia arriba. Con esta aproximación, los estudiantes pueden aprender primero sobre telecomunicaciones (niveles inferiores), antes de aprender sobre comunicación de datos (niveles superiores). Por ejemplo, los estudiantes pueden aprender sobre señales, codificación, modulación y detección de error antes de aprender algo sobre la transmisión de datos a través de Internet. Esta característica elimina la necesidad de dos cursos: uno para telecomunicaciones y otro para comunicaciones de datos.

Los primeros nueve capítulos hacen énfasis en el nivel físico, que es esencial para comprender el resto de los niveles. Estos capítulos son particularmente necesarios para estudiantes que no tienen conocimiento previo en redes y telecomunicaciones.

Los capítulos 10 al 12 describen todos los temas relacionados con las redes de área local. El capítulo 13 aborda las redes de área metropolitana. El capítulo 14 describe las técnicas de comunicación como paso previo a las redes de área extendida.

Los capítulos 15 al 20 tratan los temas asociados con las redes de área extendida. El capítulo 21 aborda las funciones de nivel de red y el tema de conexión de redes de área local y de

área extendida. Los capítulos 22 y 23 se enfocan sobre los protocolos de nivel superior (transporte, sesión, presentación y niveles de aplicación).

Los capítulos 24 y 25 se dedican al conjunto de protocolos TCP/IP. Estos dos capítulos son una breve introducción y preparan a los estudiantes para un curso sobre el conjunto de los protocolos TCP/IP.

Aproximación visual

Este libro presenta una materia altamente técnica sin fórmulas complejas mediante el uso equilibrado de texto y figuras. Las aproximadamente 700 figuras que acompañan al texto proporcionan una oportunidad visual intuitiva para comprender el material. Las figuras son particularmente importantes para explicar los conceptos de redes, que se basan en conexiones y transmisión. Estos conceptos a medida se captan más fácilmente de forma visual que verbalmente.

He aquí unos cuantos ejemplos: la Figura 3.8 muestra el encapsulamiento de un paquete de nivel de red en una trama de nivel de enlace. Esta figura también muestra cómo las direcciones de nivel de red no se cambian, frente a las direcciones de nivel de enlace que cambian de estación a estación. Otra figura, la Figura 5.36, muestra cómo una señal 8-QAM puede transportar tres bit en cada baudio. La Figura 8.4 muestra plenamente cómo FDM combina tres señales moduladas con una señal compuesta. Las Figuras 25.3, 25.4, 25.5 y 25.6 muestran cómo el sistema de nombres de dominio está dividido en tres dominios: país, genérico e inverso.

Puntos resaltados

Los conceptos importantes se repiten en cajas para que haya una referencia rápida a los mismos y para despertar una intención inmediata.

Ejemplos y aplicaciones

En todos los lugares que se ha considerado apropiado, se han incluido ejemplos que ilustran los conceptos presentados en el texto. También ayuda el que los estudiantes dispongan de ejercicios al final de cada capítulo.

Igualmente, se han añadido aplicaciones de la vida real a lo largo de todos los capítulos. Por ejemplo, en el Capítulo 8, después de una discusión de FDM, se muestra en una aplicación la jerarquía analógica del sistema telefónico. Igualmente, después de la discusión de TDM se muestra una aplicación, la jerarquía DS del sistema telefónico.

Resumen

Cada capítulo termina con un resumen del material cubierto en ese capítulo. El resumen es un breve repaso de lo más importante del capítulo.

Términos clave

Cada capítulo incluye una lista de los términos clave que se usan a lo largo de todo el capítulo para tener una referencia rápida de los mismos.

Material práctico

Cada capítulo incluye un conjunto de prácticas diseñadas para reforzar los conceptos más importantes y animar a los estudiantes a aplicarlas. Están divididas en tres partes: cuestiones de revisión, cuestiones con múltiples opciones y ejercicios. Las preguntas de revisión permiten comprobar a los estudiantes la comprensión de primer nivel del material presentado en el capítulo. Las preguntas con múltiples respuestas permiten a los estudiantes comprobar si conocen los conceptos básicos y la terminología. Los ejercicios necesitan una comprensión del material más profunda.

Apéndices

Los apéndices están pensados para que sirvan como un material de referencia rápida o como materiales de revisión necesarios para comprender los conceptos que se tratan en el libro.

Glosario y acrónimos

El libro contiene un glosario extenso. Al final del libro aparece una lista de acrónimos.

Cambios en la segunda edición

En esta edición se ha añadido material de nuevas tecnologías, se han revisado los contenidos de los capítulos y se han aumentado y mejorado los capítulos finales.

Material nuevo

Se ha añadido el siguiente material nuevo:

Modems 56K y cable modems (Capítulo 6).
Problemas de transmisión y rendimiento del medio de transmisión (Capítulo 7).
Línea de suscripción digital (DSL) con su tecnología y fibra al bordillo (FTTC) (Capítulo 8).
Ethernet conmutada y Gigabit (Capítulo 12).
Protocolo Punto a Punto (PPP) (Capítulo 15).
Control de tráfico (Capítulo 18).
Arquitectura de switchs y Redes Locales ATM (Capítulo 19).
Métodos de cifrado adicionales (Capítulo 23).
Método de compresión Lempel-Ziv-Welch (Apéndice G).
Algoritmo de los árboles de difusión (Apéndice I).

Revisión

Todos los capítulos han sido revisados, particularmente los capítulos 4, 9, 18 y 19 y el Apéndice H.

Incremento y mejora del material final

Se han añadido varios ejemplos a muchos capítulos para clarificar el material.

Se han añadido los términos que hay al final de cada capítulo.

Las preguntas de revisión se han añadido también al final de cada capítulo.

La calidad y la cantidad de las preguntas de respuesta múltiple ha mejorado.

La calidad y la cantidad de los ejercicios ha mejorado. La mayoría de los ejercicios viejos han sido revisados y se han añadido muchos ejercicios nuevos.

Material suplementario interactivo en www.mhhe.com/forouzan

Centro de Aprendizaje Interativo

El Centro de Aprendizaje Interactivo de McGraw-Hill es una "herramienta digital" que contiene la pedagogía y los suplementos del libro. A medida que los estudiantes leen el texto *Transmisión de datos y redes*, pueden conectarse *online* para efectuar test de autoevaluación. También tienen acceso a los materiales de lectura apropiados, así como a las transparencias de Power Point y figuras del libro animadas. Las soluciones también están disponibles en la Web. Las soluciones de los problemas impares están disponibles para los alumnos, y los instructores pueden usar una contraseña para acceder al conjunto completo de soluciones.

Además, McGraw-Hill le ayuda a crear una página web para su curso de redes con un producto exclusivo de McGraw-Hill llamado PageOut. No necesita conocimiento previo de HTML, ni largas horas de dedicación, ni habilidades de diseño de su parte. En lugar de ello, PageOut ofrece una serie de plantillas. Basta con rellenarlas con información de su curso y pulsar sobre uno de los 16 diseños existentes. El proceso cuesta aproximadamente una hora y le genera una página web con un diseño profesional.

Aunque PageOut ofrece desarrollo "instantáneo", la página web terminada tiene unas características muy potentes. Un diccionario interactivo del curso le permite depositar contenidos que coincidan con sus lecturas, de forma que cuando los estudiantes visiten su página web PageOut, su diccionario les direccionará directamente al Centro de Aprendizaje Online de Forouzan, o al material específico desarrollado por usted mismo.

Cómo usar el libro

Este libro se ha escrito para una audiencia tanto académica como profesional. El libro puede usarse como una guía de autoestudio para los profesionales que estén interesados en el tema. Como libro de texto, puede ser útil para un curso de un semestre o un cuatrimestre. Los capítulos se han organizado para proporcionar un amplio grado de flexibilidad. A continuación se muestran algunos consejos para su uso:

Los Capítulos 1 al 12 son fundamentales.

El Capítulo 13 es opcional.

Los Capítulos 14 al 18 se pueden tratar en detalle en un semestre o de forma breve en un curso de un cuatrimestre.

Los Capítulos 19 al 25 son fundamentales.

Reconocimientos

Es obvio que el desarrollo de un libro de este rango necesita el apoyo de mucha gente. Queremos mostrar nuestro agradecimiento a los estudiantes y al personal del De Anza; su apoyo y su esfuerzo permitieron que el proyecto se materializara y contribuyeron a su éxito. Especialmente queremos mostrar nuestro agradecimiento a Claudia Gohler y a Anastasia Mazharina por su esencial asistencia en la preparación de las soluciones del material final.

La contribución más importante al desarrollo de un libro como este viene de los revisores. Es difícil expresar nuestra gratitud en palabras a todos los revisores que han estado numerosas horas leyendo el manuscrito y proporcionándonos comentarios e ideas de gran ayuda. Nos gustaría mostrar especialmente nuestro reconocimiento a las contribuciones de los siguientes revisores de las primeras y segundas ediciones de este libro.

Revisores de la primera edición:

Russell J. Clark, *Universidad de Dayton*
Charles K. Davis, *Universidad de Houston*
James M. Frazier, *Universidad de North Carolina y Charlotte*
John W. Gray, *Universidad de Massachusetts y Dartmouth*
Thomas F. Hain, *Universidad de South Alabama*
Paul N. Higbee, *Universidad de North Florida*
Seung Bae Im, *Universidad del Estado de California y Chico*
Rose M. Laird, *Northern Virginia Community College*
Jorg Liebeherr, *Universidad de Virginia*
Wallace C. Liu, *Universidad del Estado de California y Fresno*
Peter Maggiacomo, *Sinclair Community College*
Larry D. Owens, *Universidad del Estado de California y Fresno*
Michael Peterson, *Iowa Western Community College*
Satya Prakash Saraswat, *Colegio de Bentley*
T. Radhakrishnan, *Universidad de Concordia*
Heidi Schmidt, *Universidad Estatal de San Francisco*
Gordon Springer, *Universidad de Missouri y Columbia*

Revisores de la segunda edición:

Jay Benson, *Anne Arundel Community College*
John Besci, *Colegio y Universidad Estatal de Clayton*
David L. Doss, *Universidad Estatal de Illinois*
Timothy W. Price, *Universidad de Indiana – Purdue Universidad de Indianapolis*
Xiaojun Shen, *Universidad de Missouri, Kansas City*
Zixiang (Alex) Tan, *Universidad de Syracusa*

Gracias especialmente al personal de McGraw-Hill. Betsy Jones, nuestra directora ejecutiva, demostró cómo un editor eficiente puede hacer posible lo imposible. Emily Gray, el editor de desarrollo, nos prestó una gran ayuda cuando la necesitamos. Amy Hill, nuestro gestor de proyecto, nos guió a través del proyecto de producción con gran entusiasmo. También nos gustaría mostrar nuestro agradecimiento a Heather Burbridge en la producción, Gino Cieslik en el diseño, y Betsy Blumenthal, el editor de copia.

Reconocimiento de marcas registradas

A través del texto se usan varias marcas registradas. En lugar de insertar un símbolo de marcas registradas con cada mención al nombre registrado, se reconocen aquí las marcas registradas y el hecho de que están usadas, así como la intención de no infringirlas. Los siguientes nombres de productos y marcas registradas son propiedad de sus dueños respectivos.

Apple, Apple Talk, Ether Talk, LocalTalk, TokenTalk y Macintosh son marcas registradas de Apple Computer, Inc.

CAPÍTULO 1
Introducción

En este capítulo se pone de manifiesto la necesidad de estudiar la transmisión de datos y las redes y se tratan estos conceptos. Se define lo que es un protocolo y lo que es un estándar, términos que se usan a lo largo del libro.

1.1. ¿POR QUÉ ESTUDIAR TRANSMISIÓN DE DATOS?

Que los dibujantes de *comics* y los *disk-jockeys* comiencen a dar sus direcciones de correo electrónico a sus *fans* es un signo de la creciente interconectividad que define la forma de comunicación con la gente y con las instituciones que nos interesan. La Internet y la Web[1] *(World Wide Web)* apuntan a una auténtica colaboración a una escala global. A través de una computadora y de un módem, un músico en Minneapolis puede tener acceso directo a los recursos del Institute pour le Recherche et Coordination Acoustique Musique en París. Un investigador del cáncer de la Universidad de Stanford puede comparar sus hallazgos de investigación con colegas en el Instituto Nacional de la Salud de Washington. Un gestor de cuentas en Dallas puede obtener los datos de coste de fabricación de una subsidiaria de Singapur a tiempo para presentarlos en transparencias en una reunión importante.

Las redes están cambiando las formas de comercio y las formas de vida en general. Las decisiones comerciales se toman cada vez más rápidamente y los que las toman requieren acceso inmediato a información exacta. Pero antes de preguntar lo rápido que podemos conectarnos, es necesario saber cómo funcionan las redes, qué tipo de tecnología está disponible y qué diseño se ajusta mejor a cada conjunto de necesidades. Cuando una empresa añade una nueva división, la tecnología debe ser lo suficientemente flexible para reflejar los cambios de configuración. ¿Es un diseño determinado suficientemente robusto como para poder adaptarse al crecimiento? Conocer las posibilidades de las redes y cuándo usar cada tipo de tecnología es esencial para establecer el sistema correcto en los entornos de información actuales que cambian dinámicamente.

El desarrollo de la computadora personal ha significado cambios extraordinarios para los negocios, la industria, la ciencia y la educación. La tecnología de procesamiento de la información, antaño bajo el dominio de técnicos altamente entrenados, se ha convertido en algo

[1] *N. de los T.:* Por simplificar, a lo largo del libro utilizaremos el término *Web* para referirnos a la *World Wide Web,* red extendida a lo ancho del mundo.

suficientemente amigable para poder ser utilizado por trabajadores no técnicos. Pronto los vendedores, contables, profesores, investigadores, secretarias y gestores comenzaron a diseñar sus propias hojas de cálculo, presentaciones y bases de datos. Las empresas y las universidades comenzaron a construir microcomputadoras para facilitar la gestión de la información. A medida que se instalaron estas microcomputadoras, los terminales tradicionales, que habían proporcionado transmisiones pasivas con las grandes computadoras centrales, quedaron eliminados. Se sustituyeron por emuladores de terminales de PC, que proporcionaron una nueva conexión inteligente a un servidor central.

Incluso con toda esta nueva potencia de cálculo, los usuarios no tenían una forma eficiente de compartir los datos. Excepto aquellos con computadoras conectadas directamente a una computadora central, cualquiera que quisiera enviar o recibir información tenía que hacerlo a mano. En la década de los 70, una empresa de Toronto que gestionaba procesamiento de datos para un banco local podría elaborar la información, grabarla en una cinta y después alquilar un coche blindado para transportar semanalmente este material a la computadora central. (Un mensajero llevando una cinta en un avión era considerado como el último grito del ancho de banda para comunicación de datos.) En el nuevo mundo de los PC y las estaciones de trabajo, los datos se podían copiar en un disquete y cargarse físicamente en otro PC –incluso, aunque estuviera justo en la mesa de al lado– o ser impresos; enviados por correo, o por fax o enviados por mensajero a su destino; allí se podían cargar en una computadora remota. Esto no sólo era una pérdida de tiempo, sino que también creaba otros inconvenientes. Teclear de nuevo los datos podía generar errores humanos, y los problemas asociados con la transferencia de los disquetes eran a veces peores. Además de las limitaciones de capacidad, que a menudo hacían necesario la utilización de múltiples secuencias de disquetes cuidadosamente ordenados para llevar a cabo una transmisión, los disquetes se convirtieron en una forma terrorífica de transmisión de virus que podían saltar de una computadora a otra.

Además, los estándares de productividad estaban cambiando. ¿Por qué esperar una semana a que llegara por correo un informe de Alemania? Si las computadoras podían comunicarse rápidamente, podría llegar casi de forma inmediata. Había llegado la hora de conectar las computadoras personales a las redes de computadoras.

Una revolución similar está ocurriendo en la red de telecomunicaciones. Los avances tecnológicos están haciendo posible que los enlaces de comunicaciones puedan transmitir señales más rápidamente y con más capacidad. Como resultado, los servicios están evolucionando para permitir el uso de nuevas capacidades, incluyendo ampliaciones a servicios telefónicos ya existentes, como conferencias múltiples, llamada en espera, correo a través de web e identificación de llamadas; los nuevos servicios digitales incluyen videoconferencias y recuperación de la información.

El desarrollo del *hardware* adecuado ha sido uno de los retos que han tenido que afrontar los diseñadores de redes, pero de ninguna forma ha sido el único. Diseñar conexiones entre computadoras personales, estaciones de trabajo y otros dispositivos digitales requiere una buena comprensión de las necesidades de los usuarios. ¿Cómo fluye la información? ¿Quién está compartiendo datos y qué tipo de datos se comparten? ¿Qué distancia física tiene que viajar la información? ¿Están los datos compartidos limitados a varios PC dentro de una oficina, o también deben compartirse los datos con oficinas en el área local o con un impredecible número de suscriptores a lo largo del mundo? De hecho, para gestionar efectivamente su negocio, muchas instituciones actuales deben disponer de más de un tipo de red.

1.2. TRANSMISIÓN DE DATOS

Cuando nos comunicamos, estamos compartiendo información. Esta compartición puede ser local o remota. Entre los individuos, las comunicaciones locales se producen habitualmente cara a cara, mientras que las comunicaciones remotas tienen lugar a través de la distancia. El término **telecomunicación**, que incluye telefonía, telegrafía y televisión, significa comunicación a distancia (*tele* significa lejos en griego).

La palabra *datos* se refiere a hechos, conceptos e instrucciones presentados en cualquier formato acordado entre las partes que crean y utilizan dichos datos. En el contexto de los sistemas de información basados en computadora, los datos se representan con unidades de información binaria (o bits) producidos y consumidos en forma de ceros y unos.

> En los sistemas de información basados en computadoras, los datos se representan con unidades de información binaria (o bits) producidos y consumidos en forma de ceros y unos.

La **transmisión de datos** es el intercambio de datos (en forma de **ceros y unos**) entre dos dispositivos a través de alguna forma de medio de transmisión (como un cable). La transmisión de datos se considera local si los dispositivos de comunicación están en el mismo edificio o en un área geográfica restringida y se considera remota si los dispositivos están separados por una distancia considerable.

Para que la transmisión de datos sea posible, los dispositivos de comunicación deben ser parte de un sistema de comunicación formado por *hardware* y *software*. La efectividad del sistema de comunicación de datos depende de tres características fundamentales:

1. **Entrega.** El sistema debe entregar los datos en el destino correcto. Los datos deben ser recibidos por el dispositivo o usuario adecuado y solamente por ese dispositivo o usuario.
2. **Exactitud.** El sistema debe entregar los datos con exactitud. Los datos que se alteran en la transmisión son incorrectos y no se pueden utilizar.
3. **Puntualidad.** El sistema debe entregar los datos con puntualidad. Los datos entregados tarde son inútiles. En el caso del vídeo, el audio y la voz, la entrega puntual significa entregar los datos a medida que se producen, en el mismo orden en que se producen y sin un retraso significativo. Este tipo de entregas se llama transmisión en tiempo real.

Componentes

Un sistema de transmisión de datos está formado por cinco componentes (véase la Figura 1.1).

1. **Mensaje.** Es la información (datos) a comunicar. Puede estar formado por texto, números, gráficos, sonido o vídeo –o cualquier combinación de los anteriores.
2. **Emisor.** Es el dispositivo que envía los datos del mensaje. Puede ser una computadora, una estación de trabajo, un teléfono, una videocámara y otros muchos.
3. **Receptor.** Es el dispositivo que recibe el mensaje. Puede ser una computadora, una estación de trabajo, un teléfono, una televisión y otros muchos.

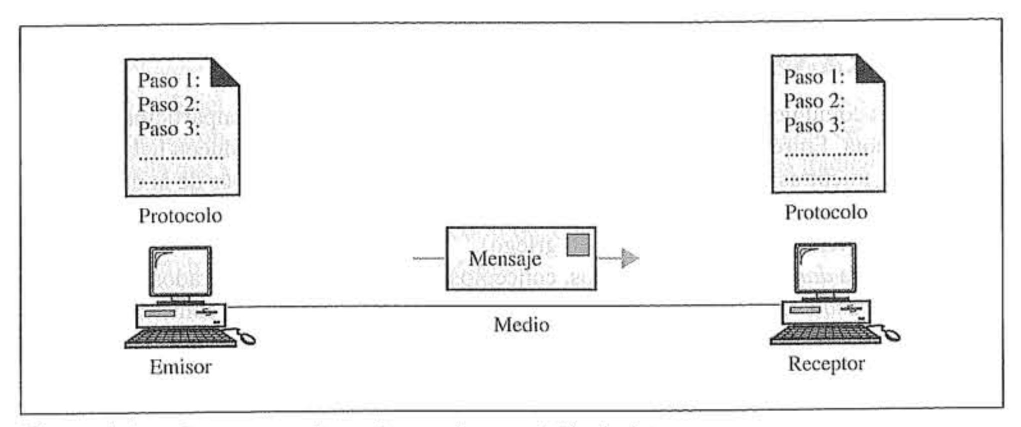


Figura 1.1. *Componentes de un sistema de transmisión de datos.*

4. **Medio.** El **medio** de transmisión es el camino físico por el cual viaja el mensaje del emisor al receptor. Puede estar formado por un cable de par trenzado, un cable coaxial, un cable de fibra óptica, un láser u ondas de radio (terrestres o microondas de satélite).
5. **Protocolo.** Es un conjunto de reglas que gobiernan la transmisión de datos. Representa un acuerdo entre los dispositivos que se comunican. Sin un protocolo, dos dispositivos pueden estar conectados pero no comunicarse, igual que una persona que hable francés no puede ser comprendida por una que sólo hable japonés.

1.3. REDES

Una red es un conjunto de dispositivos (a menudo denominados nodos) conectados por enlaces de un medio físico. Un nodo puede ser una computadora, una impresora o cualquier otro dispositivo capaz de enviar y/o recibir datos generados por otros nodos de la red. Los enlaces conectados con los dispositivos se denominan a menudo canales de comunicación.

Procesamiento distribuido

Las redes usan **procesamiento distribuido** en el aspecto en que una tarea está dividida entre múltiples computadoras. En lugar de usar una única máquina grande responsable de todos los aspectos de un proceso, cada computadora individual (habitualmente una computadora personal o una estación de trabajo) maneja un subconjunto de ellos.

Algunas ventajas del procesamiento distribuido son las siguientes:

- **Seguridad/encapsulación.** Un diseñador de sistemas puede limitar el tipo de interacciones que un determinado usuario puede tener con el sistema completo. Por ejemplo, un banco puede permitir a los usuarios acceder solamente a su propia cuenta a través de un cajero automático sin permitirles acceder a la base de datos completa del banco.
- **Bases de datos distribuidas.** Ningún sistema necesita proporcionar una capacidad de almacenamiento para toda la base de datos. Por ejemplo, la Web da acceso a los usuarios a información que pueda estar siendo almacenada y manipulada realmente en cualquier parte de Internet.

- **Resolución más rápida de problemas.** Múltiples computadoras que trabajan en partes de un problema de forma concurrente a menudo pueden resolver el problema más rápido que una única máquina que trabaje en dicho problema. Por ejemplo, las redes de PC han descubierto códigos de cifrado que se presumían indescifrables debido a la cantidad de tiempo que supondría hacerlo con una única computadora.
- **Seguridad mediante redundancia.** Múltiples computadoras ejecutando el mismo programa al mismo tiempo pueden proporcionar un mecanismo de seguridad a través de la redundancia. Por ejemplo, en la lanzadera espacial hay tres computadoras que ejecutan el mismo programa, de forma que si una tiene un error de *hardware* o *software*, las otras pueden solventarlo.
- **Proceso cooperativo.** Tanto múltiples computadoras como múltiples usuarios pueden interactuar para llevar a cabo una tarea. Por ejemplo, en los juegos multiusuario que hay en la red las acciones de cada jugador son visibles y afectan a los demás.

Criterios de redes

Para que sea considerada efectiva y eficiente, una red debe satisfacer un cierto número de criterios. Los más importantes son las prestaciones, la fiabilidad y la seguridad (véase la Figura 1.2).

Prestaciones

Las prestaciones se pueden medir de muchas formas, incluyendo el tiempo de tránsito y el tiempo de respuesta. El tiempo de tránsito es la cantidad de tiempo necesario para que un mensaje viaje de un dispositivo a otro. El tiempo de respuesta es el tiempo transcurrido entre una petición y una respuesta.

Las prestaciones de una red dependen de un cierto número de factores, incluyendo el número de usuarios, el tipo de medio de transmisión, las capacidades de los dispositivos *hardware* conectados y la eficiencia del *software*.

- **Número de usuarios.** La existencia de un gran número de usuarios concurrentes puede retrasar el tiempo de respuesta en una red no diseñada para coordinar gran volumen de tráfico. El diseño de una red dada se basa en una estimación del número medio de usuarios que estarán en comunicación al mismo tiempo. Sin embargo, en los periodos de picos

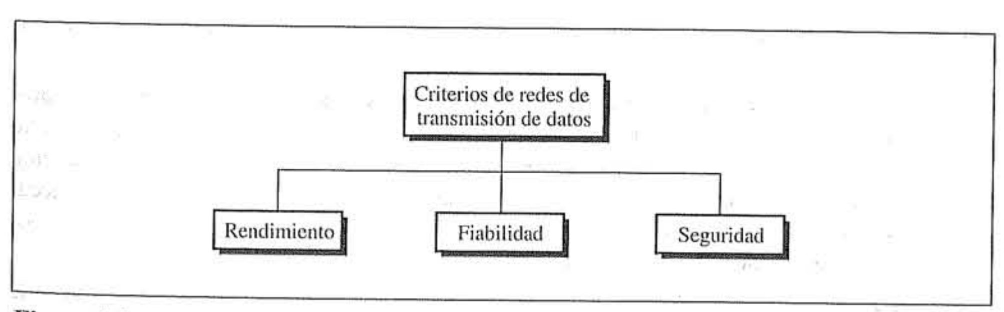


Figura 1.2. *Criterios de las redes.*

de carga el número real de usuarios puede exceder con mucho la media y por tanto causar una disminución de las prestaciones. La forma en que una red responde a la carga es una medida de su rendimiento.

- **Tipo de medio de transmisión.** El medio define la velocidad a la cual se pueden enviar los datos a través de una conexión (la tasa de datos). Las redes actuales están consiguiendo cada vez medios de transmisión más y más rápidos, como los cables de fibra óptica. Un medio que puede transportar datos a 100 Mbps es diez veces más potente que un medio que puede transportar datos a solamente 10 Mbps. Sin embargo, la velocidad de la luz supone un límite superior en la tasa de datos.
- ***Hardware.*** El tipo de *hardware* incluido en la red afecta tanto a la velocidad como a la capacidad de transmisión de la misma. Una computadora de alta velocidad con una gran capacidad de almacenamiento da lugar a mejores prestaciones
- ***Software.*** El *software* utilizado para procesar los datos en el emisor, el receptor y los nodos intermedios afecta también a las prestaciones de la red. Llevar un mensaje de un nodo a otro a través de una red significa una cierta carga de procesamiento para transformar los datos primarios a señales transmisibles, para encaminar estas señales al destino apropiado, para asegurar una entrega libre de errores y para reconvertir las señales en un formato que pueda utilizar el usuario. El *software* que proporciona estos servicios afecta tanto a la velocidad como a la fiabilidad del enlace de la red. Un *software* bien diseñado puede acelerar el proceso y hacer que la transmisión sea más efectiva y más eficiente.

Fiabilidad

Además de tener en cuenta la exactitud de la entrega, la fiabilidad de la red se mide por la frecuencia de fallo, el tiempo que le cuesta al enlace recuperarse del fallo y la robustez de la red dentro de una catástrofe.

- **Frecuencia de fallo.** Todas las redes fallan ocasionalmente. Sin embargo, una red que falla a menudo es muy poco útil para los usuarios.
- **Tiempo de recuperación de una red después de un fallo.** ¿Cuánto cuesta restaurar el servicio? Una red que se recupera rápidamente es más útil que una que no lo hace.
- **Catástrofe.** Las redes deben estar protegidas de eventos catastróficos tales como fuego, terremotos y robos. Una protección adecuada contra un daño imprevisto, para lograr un sistema de red fiable, es tener copias de respaldo del *software* de la red.

Seguridad

Los aspectos de **seguridad** de la red incluyen proteger los datos contra accesos no autorizados y contra los virus.

- **Accesos no autorizados.** Para que una red sea útil, los datos sensibles deben estar protegidos frente a accesos no autorizados. La protección puede llevarse a cabo a un cierto número de niveles. En el nivel más bajo están los códigos y contraseñas de identificación de los usuarios. A un nivel más alto se encuentran las técnicas de cifrado. Con estos mecanismos, los datos se alteran de forma sistemática de forma que si son interceptados por un usuario no autorizado sean ininteligibles.
- **Virus.** Debido a que la red es accesible desde muchos puntos, puede ser susceptible de sufrir ataques de virus de computadoras. Un virus es un código que se ha introducido en la red ilícitamente y que genera daños en el sistema. Una buena red está protegida ante ataques de virus mediante mecanismos *software* y *hardware* diseñados específicamente para ese propósito.

Aplicaciones

En el corto espacio de tiempo que llevan en funcionamiento, las redes de transmisión de datos se han convertido en una parte indispensable de los negocios, la industria y el entretenimiento. Algunas de las aplicaciones de las redes en distintos campos son las siguientes:

- ***Marketing* y ventas.** Las redes de computadoras se usan extensivamente en las organizaciones de *marketing* y de ventas. Los profesionales del *marketing* las usan para recolectar, intercambiar y analizar datos relacionados con las necesidades de los clientes y con los ciclos de desarrollo de productos. Las aplicaciones de ventas incluyen la televenta, que capta pedidos por computadora o los teléfonos conectados a una red de procesamiento de pedidos, así como los servicios de reserva interactiva para hoteles, líneas aéreas y otros muchos.
- **Servicios financieros.** Los servicios financieros actuales son totalmente dependientes de las redes de computadoras. Las aplicaciones incluyen búsqueda de historia de créditos, intercambio de moneda extranjera y servicios de investigación y transferencia electrónica de fondos (EFT, *Electronic Funds Transfer*), las cuales permiten a un usuario transferir dinero sin ir a un banco (un cajero automático es un tipo de transferencia electrónica de fondos; el depósito automático de cheques es otra).
- **Fabricación.** Las redes de computadoras se usan actualmente en muchos ámbitos de la fabricación, incluyendo el proceso de fabricación en sí mismo. Dos aplicaciones que usan redes para proporcionar servicios esenciales son el diseño asistido por computadora (CAD) y la fabricación asistida por computadora (CAM), las cuales permiten que múltiples usuarios trabajen simultáneamente en un proyecto.
- **Mensajería electrónica.** Probablemente, la aplicación de las redes más extendida es el correo electrónico (*e-mail*).
- **Servicios de directorios.** Los servicios de directorios permiten almacenar listas de archivos en una localización centralizada para acelerar las operaciones de búsqueda a nivel mundial.
- **Servicios de información.** Los servicios de información de la red incluyen boletines y bancos de datos. Un servidor web que ofrezca especificaciones técnicas para un producto nuevo es un servicio de información.
- **Intercambio electrónico de datos (EDI).** El EDI (*Electronic Data Interchange*) permite la transmisión de información comercial (incluyendo documentos tales como pedidos y facturas) sin usar papel.
- **Teleconferencia.** La teleconferencia permite llevar a cabo conferencias sin que los participantes estén en el mismo lugar. Las aplicaciones incluyen conferencias sencillas de texto (donde los participantes se comunican a través de teclados y monitores de computadoras), conferencias de voz (donde los participantes en un cierto número de localidades se comunican simultáneamente a través del teléfono) y videoconferencias (donde los participantes pueden verse mientras hablan entre sí).

- **Teléfono celular.** En el pasado, dos socios que quisieran utilizar los servicios de la compañía telefónica tenían que estar enlazados por una conexión física fija. Las redes celulares actuales hacen posible mantener conexiones con teléfonos móviles incluso mientras se está viajando a largas distancias.
- **Televisión por cable.** Los servicios futuros a proporcionar por la red de televisión por cable pueden incluir vídeo bajo demanda, así como la misma información, financiera y servicios de comunicación actualmente proporcionados por las compañías telefónicas y las redes de las computadoras.

1.4. PROTOCOLOS Y ESTÁNDARES

Protocolos

En las redes de computadoras, la comunicación se lleva a cabo entre distintas entidades de distintos sistemas. Una entidad es cualquier cosa capaz de enviar o recibir información. Algunos ejemplos incluyen programas de aplicación, paquetes de transferencia de archivos, navegadores, sistemas de gestión de bases de datos y *software* de correo electrónico. Un sistema es un objeto físico que contiene una o más entidades. Algunos ejemplos incluyen las computadoras y los terminales.

Pero no basta con que dos entidades se envíen flujos de bits entre sí para que se entiendan. Para que exista comunicación, las entidades deben estar de acuerdo en un protocolo. Como se definió en la Sección 1.2, un protocolo es un conjunto de reglas que gobiernan la comunicación de datos. Un protocolo define qué se comunica, cómo se comunica y cuándo se comunica. Los elementos clave de un protocolo son su sintaxis, su semántica y su temporización.

Sintaxis

La **sintaxis** se refiere a la estructura del formato de los datos, es decir, el orden en el cual se presentan. Por ejemplo, un protocolo sencillo podría esperar que los primeros ocho bits de datos fueran la dirección del emisor, los segundos ocho bits, la dirección del receptor y el resto del flujo fuera el mensaje en sí mismo.

Semántica

La **semántica** se refiere al significado de cada sección de bits. ¿Cómo se interpreta un determinado patrón y qué acción se toma basada en dicha representación? Por ejemplo, ¿una dirección identifica la ruta a tomar o el destino final del mensaje?

Temporización

La **temporización** define dos características: cuándo se deberían enviar los datos y con qué rapidez deberían ser enviados. Por ejemplo, si un emisor produce datos a una velocidad de 100 Mbps, pero el receptor puede procesar datos solamente a 1 Mbps, la transmisión sobrecargará al receptor y se perderá gran cantidad de datos.

> En la transmisión de datos, un protocolo es un conjunto de reglas (convenciones) que gobiernan todos los aspectos de la comunicación de información.

Estándares

Con la existencia de tantos factores a sincronizar, es necesario llevar a cabo un gran trabajo de coordinación entre los nodos de una red si se quiere que haya algún tipo de comunicación, independientemente de que sea exacta y eficiente. Un único fabricante puede construir todos sus productos para que funcionen bien entre sí, pero ¿qué pasa si alguno de los componentes que necesita no están hechos por la misma empresa? ¿Qué tiene de bueno una televisión que solamente puede recibir un conjunto de señales, si todas las televisiones locales emiten otras? Donde no hay estándares surgen las dificultades. Los automóviles son un ejemplo de productos no estandarizados. Un volante de una marca y un modelo de un coche no vale en general para otra marca de modelo si no se hace alguna modificación. Un **estándar** proporciona un modelo de desarrollo que hace posible que un producto funcione adecuadamente con otros sin tener en cuenta quién lo ha fabricado.

Los estándares son esenciales para crear y mantener un mercado abierto y competitivo entre los fabricantes de los equipos y para garantizar la interoperabilidad nacional e internacional de los datos y la tecnología y los procesos de telecomunicaciones. Proporcionan guías a los fabricantes, vendedores, agencias del gobierno y otros proveedores de servicios, para asegurar el tipo de interconectividad necesario en los mercados actuales y en las comunicaciones internacionales.

Si los estándares no están bien pensados pueden retrasar el desarrollo debido a que pueden forzar la adhesión a desarrollos bisoños y, muy posiblemente, inflexibles. Pero el pragmatismo actual y la presión de los consumidores ha forzado a la industria a reconocer la necesidad de modelos generales y hay un acuerdo global de lo que deben ser estos modelos. La inteligencia y la previsión de los diseñadores parecen ser tales que los estándares que están siendo adoptados actualmente facilitarán más que retrasarán el desarrollo técnico.

Los estándares de transmisión de datos se pueden clasificar en dos categorías: *de facto* (que quiere decir «de hecho» o «por convención») y *de jure* (que quiere decir «por ley» o «por regulación»). (Véase Figura 1.3.)

Los **estándares de jure** son aquellos que han sido legislados por un organismo oficialmente reconocido. Los estándares que no han sido aprobados por una organización reconocida pero han sido adoptados como estándares por su amplio uso son estándares de facto. Los estándares de facto suelen ser establecidos a menudo por fabricantes que quieren definir la funcionalidad de un nuevo producto de tecnología.

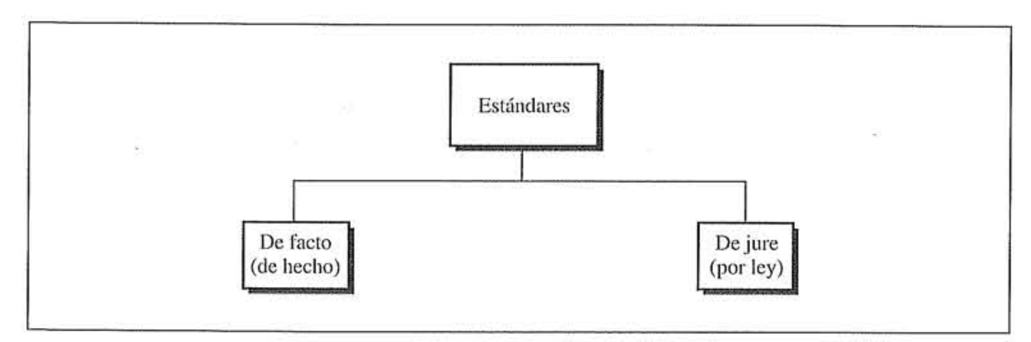


Figura 1.3. *Categorías de estándares.*

Los **estándares de facto** se pueden subdividir en dos clases: *propietario* y *no propietario*. Los estándares de propietario son aquellos originalmente inventados por una organización comercial como base para el funcionamiento de sus productos. Se llaman de propietario porque son propiedad de la compañía que los inventó. Estos estándares también se llaman estándares *cerrados*, porque cierran o entorpecen las comunicaciones entre sistemas producidos por distintos vendedores. Los estándares no propietarios son aquellos originalmente desarrollados por grupos o comités que los han transferido al dominio público; también se llaman estándares *abiertos* porque abren las comunicaciones entre distintos sistemas.

1.5. ORGANIZACIONES DE ESTANDARIZACIÓN

Los estándares son desarrollados mediante la cooperación entre **comités de creación de estándares**, **foros** y **agencias reguladoras** de los gobiernos.

Comités de creación de estándares

Aunque hay muchas organizaciones que se dedican a la definición y establecimiento de estándares para datos y comunicaciones, en Norteamérica se confía fundamentalmente en aquellos publicados por los siguientes:

- The International Standards Organization (ISO).
- The International Telecommunications Union-Telecommunication Standards Sector (ITU-T, anteriormente el CCITT).
- The American National Standards Institute (ANSI).
- The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
- The Electronic Industries Association (EIA).
- Telcordia.

ISO

The **International Standards Organization (ISO;** también denominado como Organización Internacional para la Estandarización) es un organismo multinacional cuyos miembros provienen fundamentalmente de los comités de creación de estándares de varios gobiernos a lo largo del mundo. Creado en 1947, el ISO es una organización totalmente voluntaria dedicada a acuerdos mundiales sobre estándares internacionales. Con un número de miembros que actualmente incluye cuerpos representativos de 82 naciones industrializadas, su objetivo es facilitar el intercambio internacional de productos y servicios, proporcionando modelos de compatibilidad, mejoras de calidad, mejoras de productividad y precios más baratos. El ISO es activo en el desarrollo de la cooperación en los ámbitos científicos, tecnológicos y de las actividades económicas. De interés primordial para este libro son los esfuerzos de ISO en el campo de la tecnología de la información, que han resultado en la creación del modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI) para redes de comunicaciones. Los Estados Unidos están representados en el ISO por ANSI.

> El ISO es una organización dedicada a acuerdos mundiales sobre estándares internacionales en una amplia variedad de campos

ITU-T

A principios de la década de los 70, un cierto número de países estaba definiendo estándares nacionales para telecomunicaciones, pero a pesar de ello seguía habiendo muy poca compatibilidad internacional. Las Naciones Unidas respondieron a este problema formando, como parte de su Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), un comité, denominado Comité Consultivo para la Telefonía y la Telegrafía Internacional (CCITT). Este comité estaba dedicado al desarrollo y establecimiento de estándares para telecomunicaciones en general y para la telefonía y los sistemas de datos en particular. El 1 de marzo de 1993, el nombre de este comité se cambió a **Unión Internacional de Telecomunicaciones – Sector de Estándares de Telecomunicaciones (ITU-T)**.

La ITU-T está dividida en grupos de estudios, cada uno de los cuales se dedica a aspectos distintos de la industria. Los comités nacionales (como ANSI en los Estados Unidos y el CEPT en Europa) envían propuestas a estos grupos de estudio. Si los grupos de estudio están de acuerdo, la propuesta es ratificada y se convierte en una parte de los estándares de la ITU-T, que se emiten cada cuatro años.

Los estándares mejor conocidos de la ITU-T son las series V (V.32, V.33, V.42) que definen la transmisión de datos a través de líneas telefónicas; la serie X (X.25, X.400, X.500) que define la transmisión de datos a través de redes digitales públicas; correo electrónico, servicios de directorios y la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI), que incluyen parte de las otras series y definen la emergente red digital internacional. Los productos actuales incluyen una ampliación de RDSI llamada RDSI de banda ancha, conocida popularmente como la Autopista de la Información.

> La ITU-T es una organización de estandarización internacional relacionada con las Naciones Unidas que desarrolla estándares para telecomunicaciones. Dos estándares populares desarrollados por ITU-T son las series V y las series X

ANSI

A pesar de su nombre, el **Instituto Nacional Americano para la Estandarización (ANSI)** es una corporación completamente privada sin ánimo de lucro que no tiene ninguna relación con el gobierno federal de los Estados Unidos. Sin embargo, todas las actividades de ANSI están orientadas hacia el desarrollo de los Estados Unidos, y sus ciudadanos tienen una importancia primordial. Los objetivos expresados por ANSI incluyen servir como una institución de coordinación nacional para la estandarización voluntaria dentro de los Estados Unidos, persiguiendo que la adopción de los estándares permita hacer avanzar la economía de los Estados Unidos y asegurar la participación y la protección del interés público. Los miembros de ANSI son sociedades profesionales, asociaciones de la industria, agencias gubernamentales y reguladoras y grupos de consumidores. Los temas actuales de discusión incluyen planificación e ingeniería de interconexión de redes; servicios, señalización y arquitecturas RDSI; y jerarquía óptica (SONET).

ANSI envía sus propuestas a la ITU-T y es un miembro con derecho a voto del ISO de los Estados Unidos. El Comité Europeo de Correos, Telégrafos y Teléfonos (CEPT) y el Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicación (ETSI) proporcionan servicios similares a los de ANSI en la Unión Europea.

ANSI, una organización sin ánimo de lucro, es el representante con derecho a voto de los Estados Unidos tanto en ISO como en ITU-T.

IEEE

El **Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE,** *Institute of Electrical and Electronics Engineers*) es la mayor sociedad profesional de ingeniería del mundo. De ámbito internacional, sus objetivos son el desarrollo de la teoría, la creatividad y la calidad de los productos en el campo de la ingeniería eléctrica, la electrónica y la radio, así como otras ramas relacionadas de la ingeniería. Como uno de sus objetivos principales, el IEEE prevé el desarrollo y adopción de estándares internacionales para computación y comunicación. El IEEE tiene un comité especial para las redes de área local (LAN), del cual ha surgido el Proyecto 802 (por ejemplo, los estándares 802.3, 802.4 y 802.5).

El IEEE es el grupo profesional más grande a nivel nacional involucrado en el desarrollo de estándares para computación, comunicación, ingeniería eléctrica y electrónica. Ha financiado un estándar muy importante para el desarrollo de las áreas locales denominado Proyecto 802.

EIA

En la línea de ANSI, la **Asociación de Industrias Electrónicas (EIA)** es una organización sin ánimo de lucro dedicada a la promoción de aspectos de la fabricación electrónica. Sus objetivos incluyen despertar el interés de la educación pública y hacer esfuerzos para el desarrollo de los estándares. En el campo de la tecnología de la información, la EIA ha hecho contribuciones significativas mediante la definición de interfaces de conexión física y de especificaciones de señalización eléctrica para la comunicación de datos. En particular, el EIA-232-D, EIA-449 y EIA-530, que definen la transmisión serie entre dos dispositivos digitales (por ejemplo, computadora a módem).

EIA es una asociación de fabricantes de electrónica de los Estados Unidos. Es responsable del desarrollo de los estándares EIA-232-D y EIA-530.

Telcordia

Telcordia, anteriormente llamado Bellcore, es un producto de los Laboratorios Bell. Telcordia proporciona recursos de investigación y desarrollo para la innovación de las tecnologías de telecomunicaciones. Es una fuente importante de primeras versiones de estándares para ANSI.

Foros

El desarrollo de la tecnología de las telecomunicaciones se está produciendo más rápidamente que lo que permite la habilidad de los comités de estandarización para ratificar los estándares. Los comités de estandarización son organizaciones procedimentales y actúan lentamente por naturaleza. Para acomodar la necesidad de tener modelos de trabajo y acuerdos y facilitar los procesos de estandarización, muchos grupos de interés especial han desarrollado foros compuestos por miembros que representan las empresas interesadas. Los foros trabajan con las universidades y los usuarios para probar, evaluar y estandarizar nuevas tecnologías. Concentrando sus esfuerzos en una tecnología en particular, los foros son capaces de acelerar la aceptación y el uso de esa tecnología en la comunidad de las telecomunicaciones. Los foros presentan sus conclusiones a los organismos de estandarización.

Algunos foros importantes para la industria de las telecomunicaciones incluyen los siguientes:

Foro de Frame Relay

El *Frame Relay Forum* fue constituido por DEC, Northern Telecom, Cisco y StrataCom para acelerar la aceptación e implementación de Frame Relay. Actualmente, tiene unos 40 miembros con representación de Norteamérica, Europa y el Pacífico. Los aspectos bajo revisión incluyen temas tales como control de flujo, encapsulado, transmisión y multienvío. Todos los resultados se envían a ISO.

Foro de ATM y Consorcio de ATM

El Foro de ATM y el Consorcio de ATM existen para promocionar la aceptación y el uso de el Modo de Transferencia Asíncrono (ATM) y sus tecnologías. El Foro ATM está formado por un equipo representativo de los clientes (por ejemplo, PBX systems) y proveedores de centrales (por ejemplo, intercambio telefónico). Está relacionado con la estandarización de servicios para asegurar la interoperabilidad. El Consorcio ATM está compuesto por vendedores de *hardware* y *software* que suministra ATM.

Internet Society (ISOC) e Internet Engineering Task Force (IETF)

La Internet Society e Internet Engineering Task Force (IETF) están relacionados con la aceleración del crecimiento y la evolución de las comunicaciones en Internet. La **Internet Society** (ISOC) se concentra en los aspectos de usuario, incluyendo las mejoras al conjunto protocolos TCP/IP. El IETF es la organización de estándares para Internet en sí misma. Revisa tanto el *software* como el *hardware* de Internet. Sus contribuciones más importantes incluyen el desarrollo del Protocolo Sencillo de Gestión de Red (SNMP, *Simple Network Management Protocol*) y la revisión de los estándares de rendimiento para puentes, encaminadores y protocolos de encaminadores.

Agencias reguladoras

Toda la tecnología de comunicaciones está sujeta a regulación por las agencias del gobierno tales como la **Comisión Federal de Comunicaciones (FCC)** en los Estados Unidos. El objetivo de estas agencias es proteger el interés público mediante la regulación de la radio, la televisión y las comunicaciones por cable.

FCC

El FCC tiene autoridad sobre el comercio interestatal e internacional en lo que se refiere a las comunicaciones. Cada elemento de las tecnologías de las telecomunicaciones debe tener una

aprobación del FCC antes de que pueda ser vendido (compruebe la parte de debajo de su teléfono y vea que habrá un código de aprobación de un organismo regulador). Las responsabilidades específicas del FCC incluyen:

- Comprobación de las revisiones y las aplicaciones de las tarifas hechas por los proveedores de telegrafía y telefonía.
- Revisión de las especificaciones técnicas del *hardware* de telecomunicaciones.
- Establecimiento de tasas de retorno razonables para portadores comunes.
- División y asignación de las frecuencias de radio.
- Asignación de las frecuencias portadoras para las emisiones de radio y televisión.

1.6. ESTRUCTURA DEL LIBRO

El modelo OSI, presentado en el Capítulo 3, define un marco global para los aspectos cubiertos en este libro. El nivel más bajo del modelo, el nivel físico, se relaciona directamente con los Capítulos 4 hasta el 9. Los siguientes cuatro Capítulos, 10 al 13, describen distintos aspectos del nivel de enlace de datos. Estos incluyen una discusión de las redes de área local y metropolitana. La conmutación se cubre en el Capítulo 14.

Los Capítulos 15 al 20 tratan las tecnologías emergentes de redes de área amplia, tales como PPP, ISDN, X.25, Frame Relay, ATM y SONET. El Capítulo 21 muestra cómo conectar redes usando dispositivos de interconexión de redes.

Los modelos más altos del modelo OSI –transporte, sesión, presentación y aplicación– se tratan en los Capítulos 22 y 23.

Los Capítulos 24 y 25 se dedican al estudio de TCP/IP y de los protocolos de Internet.

1.7. TÉRMINOS Y CONCEPTOS CLAVE

agencia reguladora
American National Standards Institute (ANSI)
Asociación de Industrias Electrónicas (EIA)
comités de creación de estándares
Comisión Federal de Comunicaciones (FCC)
comunicación de datos
emisor
estándar
estándares de facto
estándares de jure
foro
Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE)
Internet Society (ISOC)
medio
mensaje
Organización Internacional de Estándares (ISO)
proceso distribuido
protocolo
seguridad
semántica
sintaxis
telecomunicación
Telcordia
temporización
receptor
red
Unión Internacional de Telecomunicaciones - Sector de Estándares de Telecomunicaciones (ITU-T)

1.8. RESUMEN

- La transmisión de datos es la transferencia de datos de un dispositivo a otro a través de algún tipo de medio de transmisión.
- Un sistema de comunicación de datos debe transmitir los datos al destino correcto de forma exacta y temporizada.
- Los cinco componentes básicos de un sistema de comunicación de datos son el mensaje, el emisor, el receptor, el medio y el protocolo.
- Las redes permiten el acceso compartido al dispositivo de información.
- Las redes usan procesamiento distribuido, en el cual una tarea se divide entre múltiples computadoras.
- Las redes se evalúan por sus prestaciones, fiabilidad y seguridad.
- Un protocolo es un conjunto de reglas que gobiernan la comunicación de datos; los elementos clave de un protocolo son su sintaxis, su semántica y temporización.
- Los estándares son necesarios para asegurar que los productos de distintos fabricantes pueden trabajar juntos como se esperaba.
- ISO, ITU-T, ANSI, IEEE, EIA y Telcordia (Bellcore) son algunas de las organizaciones involucradas en la creación de estándares.
- Los foros están formados por miembros representativos de compañías que prueban, evalúan y estandarizan las tecnologías.
- Algunos foros importantes son el Frame Relay Forum, el Foro ATM, la Internet Society y la Internet Engineering Task Force.
- La FCC es una agencia reguladora que regula las comunicaciones por radio, televisión y por cable.

1.9. MATERIAL PRÁCTICO

Preguntas de revisión

1. Identifique los cinco componentes de un sistema de comunicación de datos.
2. ¿Cuáles son las ventajas del procesamiento distribuido?
3. ¿Cuáles son los tres criterios necesarios para que una red sea eficiente y efectiva?
4. ¿Cuál es la relación entre telecomunicaciones y comunicaciones de datos? ¿Es una un subconjunto de la otra? Razone su respuesta.
5. Explique la diferencia entre un comité de creación de estándares, un foro y una agencia reguladora.
6. ¿Cuáles son las tres características fundamentales que determinan la efectividad de un sistema de emisión de datos?
7. Enumere los factores que afectan al rendimiento de una red.
8. Enumere los factores que afectan a la fiabilidad de una red.
9. Enumere los factores que afectan a la seguridad de una red.
10. ¿Cómo se usan las redes en *marketing* y ventas?
11. ¿Cómo se usan las redes en los servicios financieros?

12. ¿Cómo se usan las redes en la fabricación?
13. ¿Cómo se usan las redes en las teleconferencias?
14. ¿Cómo usan las redes las compañías telefónicas?
15. ¿Por qué se necesitan los protocolos?
16. ¿Por qué se necesitan los estándares?
17. ¿Cuáles son los elementos claves de un protocolo?
18. ¿Cuál es la diferencia entre un estándar de facto y un estándar de jure?
19. ¿Cuál es el objetivo de la ITU-T?
20. ¿Cuál es el objetivo de ANSI?
21. ¿Cuál es la diferencia entre IEEE y EIA?
22. Enumere tres foros y sus objetivos.
23. ¿Qué tiene que ver el FCC con las comunicaciones?

Preguntas con respuesta múltiple

24. ____ son reglas que gobiernan un intercambio de la comunicación.
    a. medio
    b. criterio
    c. protocolos
    d. todos los anteriores
25. El ____ es el camino físico sobre el que viajan los mensajes.
    a. protocolo
    b. medio
    c. señal
    d. todos los anteriores
26. La frecuencia del fallo y el tiempo de recuperación de la red ante fallos son medidas de ____ de una red.
    a. rendimiento
    b. fiabilidad
    c. seguridad
    d. viabilidad
27. Las prestaciones de una red de comunicaciones de datos depende de ____.
    a. el número de usuarios
    b. el medio de transmisión
    c. el *hardware* y el *software*
    d. todo lo anterior
28. Los virus son un aspecto de ____ de la red.
    a. rendimiento
    b. fiabilidad
    c. seguridad
    d. todas las anteriores
29. La protección de datos frente a un desastre natural, como un tornado, es un aspecto de ____ de la red.
    a. rendimiento
    b. fiabilidad
    c. seguridad
    d. gestión

30. ¿Qué agencia de los Estados Unidos es miembro con voto en ISO?
    a. USO
    b. IEEE
    c. NATO
    d. ANSI
31. ¿Qué agencia creó estándares para comunicaciones telefónicas (serie V) y para interfaces de red y redes públicas (serie X)?
    a. ATT
    b. ITU-T
    c. ANSI
    d. ISO
32. ¿Qué organización tiene autoridad sobre el comercio interestatal e internacional en el campo de las comunicaciones?
    a. ITU-T
    b. IEEE
    c. FCC
    d. Internet Society
33. ____ son grupos de interés especial que prueban, evalúan y estandarizan nuevas tecnologías rápidamente.
    a. foros
    b. agencias reguladoras
    c. organizaciones de estandarización
    d. todas las anteriores.
34. ¿Qué agencia desarrolló estándares para conexiones eléctricas y la transferencia física de datos entre dispositivos?
    a. EIA
    b. ITU-T
    c. ANSI
    d. ISO
35. ¿Qué organización está formada por científicos de computación e ingenieros y es conocida por el desarrollo de estándares de LAN?
    a. EIA
    b. ITU-T
    c. ANSI
    d. IEEE
36. La información que se debe comunicar en un sistema de transmisión de datos es el ____.
    a. medio
    b. protocolo
    c. mensaje
    d. transmisión
37. ____ es la división de una tarea entre múltiples computadoras.
    a. Procesamiento distribuido
    b. Mensajería distribuida
    c. Telefonía distribuida
    d. Mensajería electrónica
38. ¿Qué agencia internacional está relacionada con los estándares en ciencia y tecnología?
    a. ISO

b. OSI
c. EIA
d. ANSI

39. Si un protocolo especifica que los datos deberían enviarse a 100 Mbps, se está hablando de un aspecto de ____.
    a. sintaxis
    b. semántica
    c. temporización
    d. ninguno de los anteriores
40. Cuando un protocolo especifica que la dirección del emisor debe ocupar los primeros cuatro bytes de un mensaje, se está hablando de un tema de ____.
    a. sintaxis
    b. semántica
    c. temporización
    d. ninguno de los anteriores
41. Cuando un protocolo especifica que la dirección del emisor significa el emisor más reciente y no la fuente original, se está hablando de un aspecto de ____.
    a. sintaxis
    b. semántica
    c. temporización
    d. ninguno de los anteriores
42. ¿Cuál es la diferencia principal entre un estándar de facto y un estándar de jure?
    a. El estándar de facto ha sido legislado por un organismo oficialmente reconocido; el estándar de jure, no.
    b. El estándar de jure ha sido legislado por un organismo oficialmente reconocido; el estándar de facto, no.
    c. La compañía inventora puede poseer totalmente un estándar de hecho y no un estándar de facto.
    d. Un estándar de jure es de un propietario; un estándar de hecho, no lo es.

Ejercicios

43. Dé dos ejemplos de un producto que usa componentes no estandarizados. Dé dos ejemplos de un producto que usa componentes estandarizados.
44. Dé cinco ejemplos que muestren cómo las redes son parte de su vida actual.
45. ¿Cómo se pueden usar las redes para hacer la construcción más segura?
46. Encuentre al menos tres estándares definidos por ISO.
47. Encuentre al menos tres estándares definidos por ITU-T.
48. Encuentre al menos tres estándares definidos por ANSI.
49. Encuentre al menos tres estándares definidos por IEEE.
50. Encuentre la menos tres estándares definidos por EIA.
51. Encuentre al menos dos organizaciones de estandarización que no hayan sido mencionadas en este capítulo.
52. Dé un ejemplo de cómo el número de usuarios puede afectar a las prestaciones de una red.
53. Dé un ejemplo de cómo el tipo de medio de transmisión puede afectar a las prestaciones de una red.

54. Dé un ejemplo de cómo el *hardware* puede afectar a las prestaciones de una red.
55. Dé un ejemplo de cómo el *software* puede afectar a las prestaciones de una red.
56. Defina criterios para medir la fiabilidad de una red además de los que se han definido en este capítulo.
57. Defina criterios para medir la seguridad de una red además de los que se han definido en este capítulo.
58. Defina la sintaxis y la semántica en la sentencia siguiente: «El perro condujo el coche de forma segura hasta su destino». ¿Es correcta la sintaxis? ¿Es correcta la semántica?
59. Defina la sintaxis y la semántica en la siguiente sentencia: «El hombre condujo el coche de forma segura hasta su destino». ¿Es correcta la sintaxis? ¿Es correcta la semántica?

CAPÍTULO 2

Conceptos básicos

Antes de examinar las especificidades de la transmisión de datos entre dispositivos, es importante comprender la relación entre los dispositivos que se comunican. Hay cinco conceptos generales que conforman la base para esta relación:

- Configuración de la línea.
- Topología.
- Modo de transmisión.
- Clases de redes.
- Comunicación entre redes.

2.1. CONFIGURACIÓN DE LA LÍNEA

La configuración de la línea se refiere a la forma en que dos o más dispositivos que se comunican se conectan a un *enlace*. Un **enlace** es el medio de comunicación físico que transfiere los datos de un dispositivo a otro. A efectos de visualización, es sencillo imaginar cualquier enlace como una línea que se dibuja entre dos puntos. Para que haya comunicación, dos dispositivos deben estar conectados de alguna forma al mismo enlace simultáneamente. Hay dos configuraciones de línea posibles: punto a punto y multipunto (véase la Figura 2.1).

> La configuración de la línea define la conexión a un enlace de los dispositivos que se comunican entre sí.

Punto a punto

Una configuración de línea punto a punto proporciona un enlace dedicado entre dos dispositivos. Toda la capacidad del canal se reserva para la transmisión entre ambos dispositivos. La mayoría de las configuraciones punto a punto usan cables para conectar los extremos, pero también son posibles otras opciones, como las microondas o los satélites de enlace (véase la Figura 2.2). Cuando se cambian los canales de una televisión con control remoto mediante mando a distancia por infrarrojos, se establecen conexiones punto a punto entre el mando a distancia y el sistema de control de la televisión.

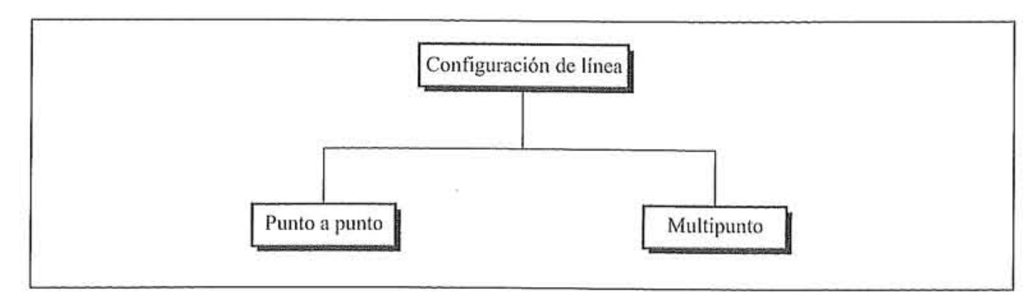


Figura 2.1. *Dos clases de configuración de la línea.*

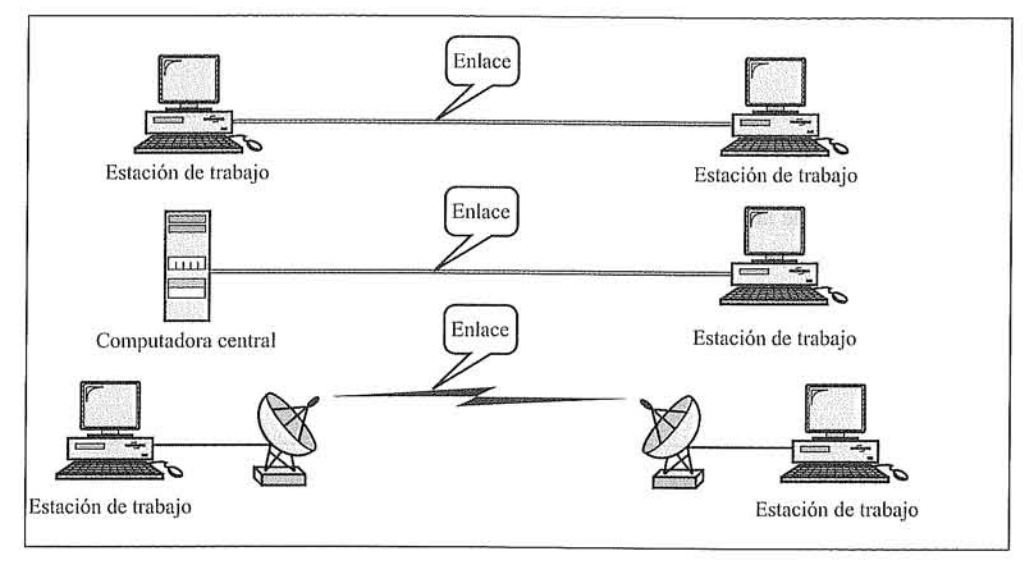


Figura 2.2. *Configuración de línea punto a punto.*

Multipunto

Una **configuración de línea multipunto** (también denominada **multiconexión**) es una configuración en la que varios dispositivos comparten el mismo enlace (véase la Figura 2.3).

En un entorno multipunto, la capacidad del canal es compartida en el espacio o en el tiempo. Si varios dispositivos pueden usar el enlace de forma simultánea, se dice que hay una configuración de línea *compartida espacialmente*. Si los usuarios deben compartir la línea por turnos, se dice que se trata de una configuración de línea de *tiempo compartido*.

2.2. TOPOLOGÍA

El término **topología** se refiere a la forma en que está diseñada la red, bien físicamente o bien lógicamente. Dos o más dispositivos se conectan a un enlace; dos o más enlaces forman una topología. La topología de una red es la representación geométrica de la relación entre todos los enlaces y los dispositivos que los enlazan entre sí (habitualmente denominados **nodos**). Hay cinco posibles topologías básicas: malla, estrella, árbol, bus y anillo (véase la Figura 2.4).

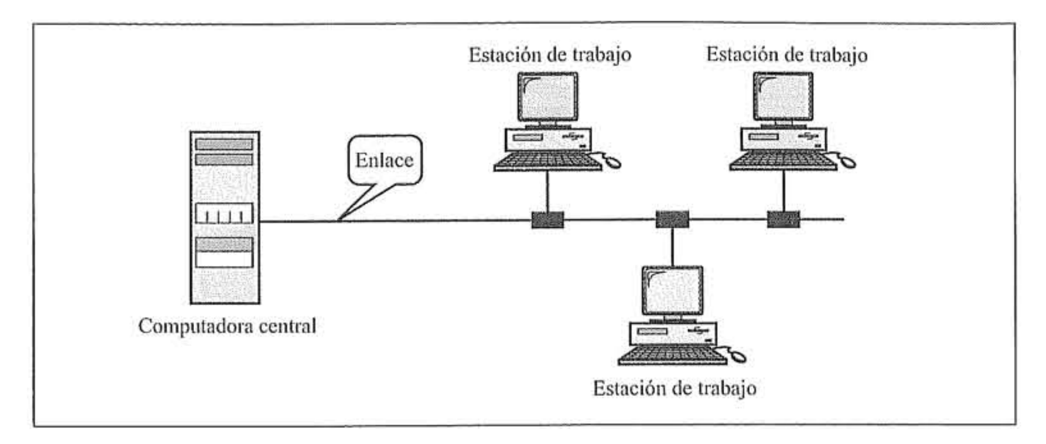


Figura 2.3. *Configuración de línea multipunto.*

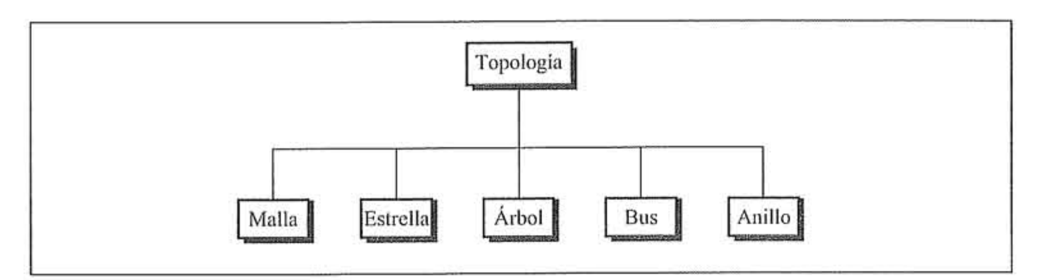


Figura 2.4. *Clases de topologías.*

La topología define la configuración física o lógica de los enlaces en una red.

Estas cinco clases describen cómo están interconectados los dispositivos de una red, lo que no indica su disposición física. Por ejemplo, que exista una topología en estrella no significa que todas las computadoras de la red deban estar situadas físicamente con forma de estrella alrededor de un concentrador. Una cuestión a considerar al elegir una topología es el estado relativo de los dispositivos a enlazar. Hay dos relaciones posibles: **igual a igual o paritaria,** donde todos los dispositivos comparten el enlace paritariamente, y **primario-secundario,** donde un dispositivo controla el tráfico y los otros deben transmitir a través de él. Las topologías en anillo y malla son más convenientes para las transmisiones entre pares, mientras que los árboles y las estrellas son más convenientes para la relación primario-secundario. Una topología de bus se adapta bien a cualquiera de las dos.

Malla

En una **topología en malla,** cada dispositivo tiene un enlace punto a punto y dedicado con cualquier otro dispositivo. El término *dedicado* significa que el enlace conduce el tráfico únicamente entre los dos dispositivos que conecta. Por tanto, una red en malla completamente conectada necesita $n(n-1)/2$ canales físicos para enlazar n dispositivos. Para acomodar tantos enlaces, cada dispositivo de la red debe tener $n-1$ puertos de entrada/salida (E/S) (véase la Figura 2.5).

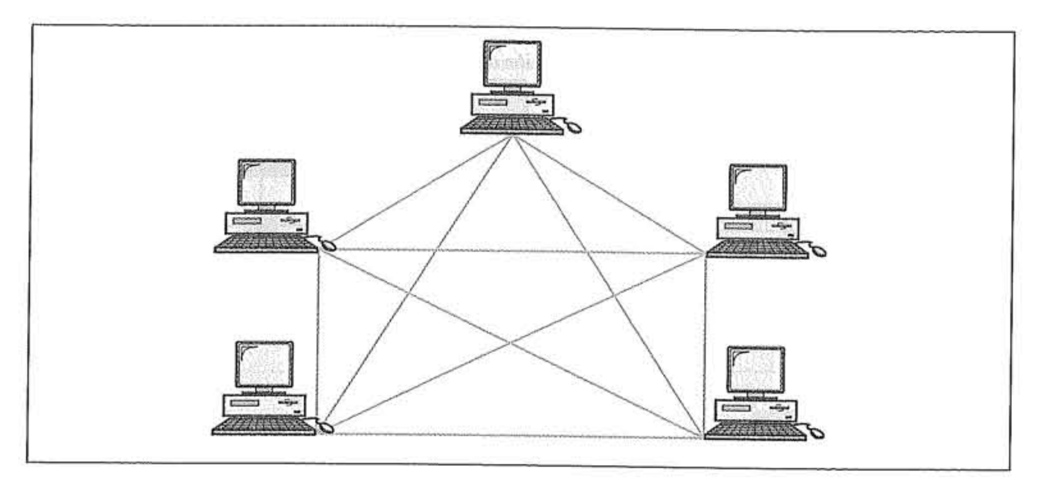


Figura 2.5. *Topología en malla completamente conectada (para cinco dispositivos).*

Una malla ofrece varias ventajas sobre otras topologías de red. En primer lugar, el uso de los enlaces dedicados garantiza que cada conexión sólo debe transportar la carga de datos propia de los dispositivos conectados, eliminando el problema que surge cuando los enlaces son compartidos por varios dispositivos.

En segundo lugar, una topología en malla es robusta. Si un enlace falla, no inhabilita todo el sistema.

Otra ventaja es la privacidad o la seguridad. Cuando un mensaje viaja a través de una línea dedicada, solamente lo ve el receptor adecuado. Las fronteras físicas evitan que otros usuarios puedan tener acceso a los mensajes.

Finalmente, los enlaces punto a punto hacen que se puedan identificar y aislar los fallos más fácilmente. El tráfico se puede encaminar para evitar los enlaces de los que se sospecha que tienen problemas. Esta facilidad permite que el gestor de red pueda descubrir la localización precisa del fallo y ayudar a buscar sus causas y posibles soluciones.

Las principales desventajas de la malla se relacionan con la cantidad de cable y el número de puertos de entrada/salida necesarios. En primer lugar, la instalación y reconfiguración de la red es difícil, debido a que cada dispositivo debe estar conectado a cualquier otro. En segundo lugar, la masa de cables puede ser mayor que el espacio disponible para acomodarla (en paredes, techos o suelos). Y, finalmente, el *hardware* necesario para conectar cada enlace (puertos de E/S y cables) puede ser prohibitivamente caro. Por estas razones, las topologías en malla se suelen instalar habitualmente en entornos reducidos –por ejemplo, en una red troncal que conecte las computadores principales de una red híbrida que puede incluir varias topologías más.

Ejemplo 2.1

La Corporación Patito Afortunado tiene una red en malla totalmente conectada formada por ocho dispositivos. Calcule el número total de enlaces y cables necesarios, así como el número de puertos de cada dispositivo.

Solución

La fórmula para calcular el número de enlaces en una red en malla completamente conectada es $n(n-1)/2$, donde n es el número de dispositivos.

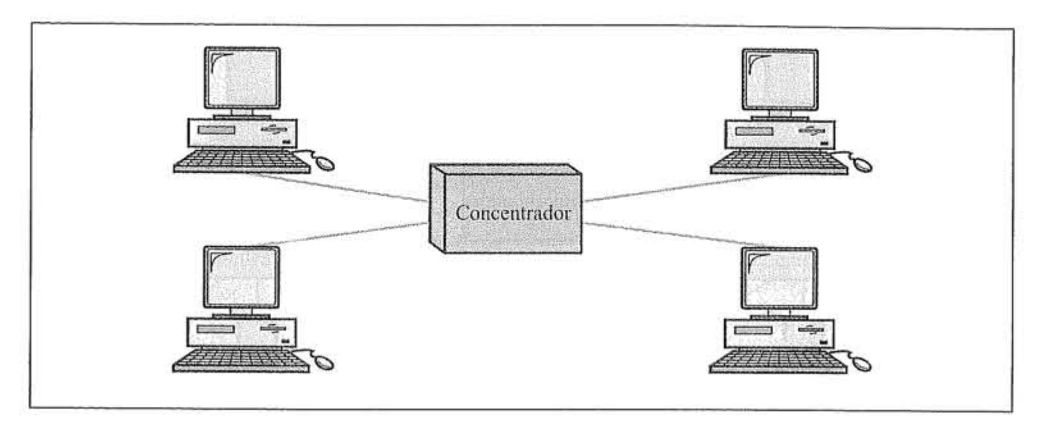


Figura 2.6. *Topología en estrella.*

Número de enlaces = $n(n-1)/2 = 8(8-1)/2 = 28$

Número de puertos por dispositivo = $n - 1 = 8 - 1 = 7$

Estrella

En la **topología en estrella** cada dispositivo solamente tiene un enlace punto a punto dedicado con el controlador central, habitualmente llamado **concentrador.** Los dispositivos no están directamente enlazados entre sí. A diferencia de la topología en malla, la topología en estrella no permite el tráfico directo de dispositivos. El controlador actúa como un intercambiador: si un dispositivo quiere enviar datos a otro, envía los datos al controlador, que los retransmite al dispositivo final (véase la Figura 2.6).

Una topología en estrella es más barata que una topología en malla. En una estrella, cada dispositivo necesita solamente un enlace y un puerto de entrada/salida para conectarse a cualquier número de dispositivos. Este factor hace que también sea más fácil de instalar y reconfigurar. Además, es necesario instalar menos cables, y la conexión, desconexión y traslado de dispositivos afecta solamente a una conexión: la que existe entre el dispositivo y el concentrador.

Otra ventaja de esta red es su robustez. Si falla un enlace, solamente este enlace se verá afectado. Todos los demás enlaces permanecen activos. Este factor permite también identificar y aislar los fallos de una forma muy sencilla. Mientras funcione el concentrador, se puede usar como monitor para controlar los posibles problemas de los enlaces y para puentear los enlaces con defectos.

Sin embargo, aunque una estrella necesita menos cable que una malla, cada nodo debe estar enlazado al nodo central. Por esta razón, en la estrella se requiere más cable que en otras topologías de red (como el árbol, el anillo o el bus).

Árbol

La **topología en árbol** es una variante de la de estrella. Como en la estrella, los nodos del árbol están conectados a un concentrador central que controla el tráfico de la red. Sin embargo, no todos los dispositivos se conectan directamente al concentrador central. La mayoría de los dispositivos se conectan a un concentrador secundario que, a su vez, se conecta al concentrador central (véase la Figura 2.7).

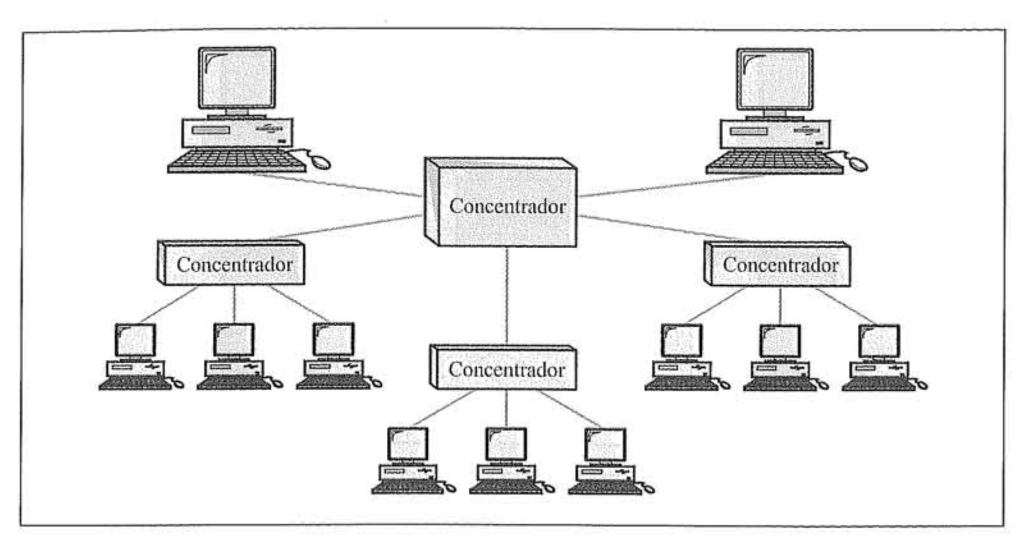


Figura 2.7. *Topología en árbol.*

El controlador central del árbol es un concentrador activo. Un **concentrador activo** contiene un repetidor, es decir, un dispositivo *hardware* que regenera los patrones de bits recibidos antes de retransmitirlos (los repetidores se tratan ampliamente en el Capítulo 21). Retransmitir las señales de esta forma amplifica su potencia e incrementa la distancia a la que puede viajar la señal.

Los concentradores secundarios pueden ser activos o pasivos. Un **concentrador pasivo** proporciona solamente una conexión física entre los dispositivos conectados.

Las ventajas y las desventajas de la topología en árbol son generalmente las mismas que las de una estrella. Sin embargo, la inclusión de concentradores secundarios tiene dos ventajas más. Primero, permite que se conecten más dispositivos a un único concentrador central y puede, por tanto, incrementar la distancia que puede viajar la señal entre dos dispositivos. Segundo, permite a la red aislar y priorizar las comunicaciones de distintas computadoras. Por ejemplo, las computadoras conectadas a un concentrador secundario pueden tener más prioridad que las computadoras conectadas a otro concentrador secundario. De esta forma, los diseñadores de la red y el operador pueden garantizar que los datos sensibles con restricciones de tiempo no tienen que esperar para acceder a la red.

La tecnología de TV por cable es un buen ejemplo de topología en árbol, ya que el cable principal, que sale de las instalaciones centrales, se divide en grandes ramas y cada rama se subdivide en otras más pequeñas hasta que se llega a los consumidores finales. Los concentradores se usan cada vez que se divide el cable.

Bus

Todos los ejemplos anteriores describen configuraciones punto a punto. Sin embargo, una **topología de bus** es multipunto. Un cable largo actúa como una **red troncal** que conecta todos los dispositivos en la red (véase la Figura 2.8).

Los nodos se conectan al bus mediante cables de conexión (latiguillos) y sondas. Un cable de conexión es una conexión que va desde el dispositivo al cable principal. Una sonda es un conector que, o bien se conecta al cable principal, o se pincha en el cable para crear un contacto con el núcleo metálico. Cuando las señales viajan a través de la red troncal, parte de su

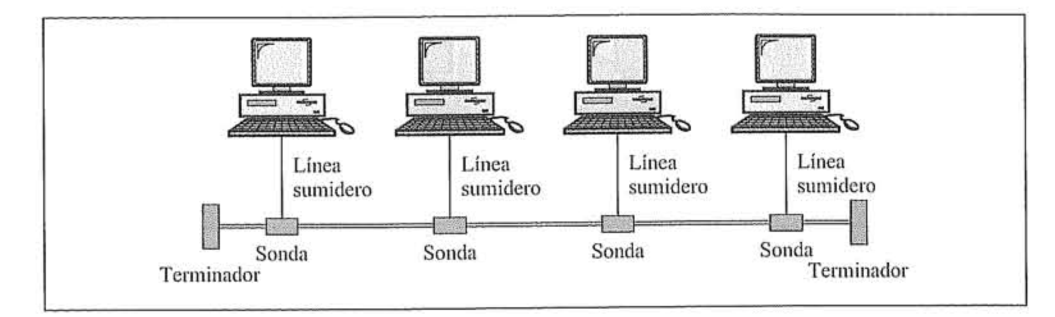


Figura 2.8. *Topología de bus.*

energía se transforma en calor, por lo que la señal se debilita a medida que viaja por el cable. Por esta razón, hay un límite en el número de conexiones que un bus puede soportar y en la distancia entre estas conexiones.

Entre las ventajas de la topología de bus se incluye la sencillez de instalación. El cable troncal puede tenderse por el camino más eficiente y, después, los nodos se pueden conectar al mismo mediante líneas de conexión de longitud variable. De esta forma se puede conseguir que un bus use menos cable que una malla, una estrella o una topología en árbol. Por ejemplo, en una estrella cuatro dispositivos situados en la misma habitación necesitarían cuatro cables de longitud suficiente para recorrer todo el camino hasta el concentrador. Un bus elimina esta redundancia. Solamente el cable troncal se extiende por toda la habitación. Cada línea de conexión únicamente tiene que ir hasta el punto de la troncal más cercano.

Entre sus desventajas se incluye lo dificultoso de su reconfiguración y del aislamiento de los fallos. Habitualmente, los buses se diseñan para tener una eficiencia óptima cuando se instalan. Por tanto, puede ser difícil añadir nuevos dispositivos. Como se dijo anteriormente, la reflexión de la señal en los conectores puede causar degradación de su calidad. Esta degradación se puede controlar limitando el número y el espacio de los dispositivos conectados a una determinada longitud de cable. Añadir nuevos dispositivos puede obligar a modificar o reemplazar el cable troncal.

Además, un fallo o rotura en el cable del bus interrumpe todas las transmisiones, incluso entre dispositivos que están en la parte de red que no falla. Esto se debe a que el área dañada refleja las señales hacia la dirección del origen, creando ruido en ambas direcciones.

Anillo

En una **topología en anillo** cada dispositivo tiene una línea de conexión dedicada y punto a punto solamente con los dos dispositivos que están a sus lados. La señal pasa a lo largo del anillo en una dirección, o de dispositivo a dispositivo, hasta que alcanza su destino. Cada dispositivo del anillo incorpora un repetidor. Cuando un dispositivo recibe una señal para otro dispositivo, su repetidor regenera los bits y los retransmite al anillo (véase la Figura 2.9).

Un anillo es relativamente fácil de instalar y reconfigurar. Cada dispositivo está enlazado solamente a sus vecinos inmediatos (bien físicos o lógicos). Para añadir o quitar dispositivos, solamente hay que mover dos conexiones. Las únicas restricciones están relacionadas con aspectos del medio físico y el tráfico (máxima longitud del anillo y número de dispositivos). Además, los fallos se pueden aislar de forma sencilla. Generalmente, en un anillo hay una señal en circulación continuamente. Si un dispositivo no recibe una señal en un período

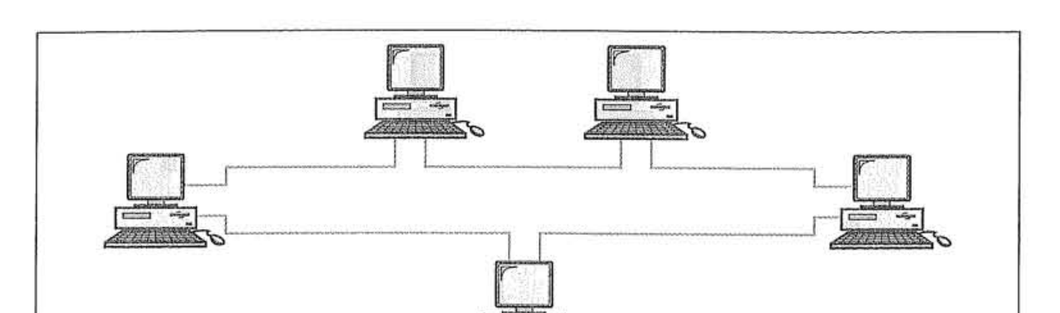


Figura 2.9. *Topología en anillo.*

de tiempo especificado, puede emitir una alarma. La alarma alerta al operador de red de la existencia del problema y de su localización.

Sin embargo, el tráfico unidireccional puede ser una desventaja. En anillos sencillos, una rotura del anillo (como por ejemplo una estación inactiva) puede inhabilitar toda la red. Esta debilidad se puede resolver usando un anillo dual o un conmutador capaz de puentear la rotura.

Ejemplo 2.2

Si los dispositivos del Ejemplo 2.1 se configuraran como un anillo en lugar de una malla, ¿cuántos cables de enlace serían necesarios?

Solución

Para conectar n dispositivos en una topología de anillo, se necesitan n cables de enlace. Un anillo de ocho dispositivos necesita ocho cables de enlace.

Topologías híbridas

A menudo, una red combina varias topologías mediante subredes enlazadas entre sí para formar una topología mayor. Por ejemplo, un departamento de una empresa puede decidir usar una topología de bus mientras otro puede tener un anillo. Ambas pueden ser conectadas entre sí a través de un controlador central mediante una topología en estrella (véase la Figura 2.10).

2.3 MODO DE TRANSMISIÓN

El término *modo de transmisión* se usa para definir la dirección del flujo de las señales entre dos dispositivos enlazados. Hay tres tipos de modos de transmisión: *símplex*, *semidúplex* y *full-dúplex* (véase la Figura 2.11).

Símplex

En el **modo símplex,** la comunicación es unidireccional, como en una calle de sentido único. Solamente una de las dos estaciones de enlace puede transmitir; la otra sólo puede recibir (véase la Figura 2.12).



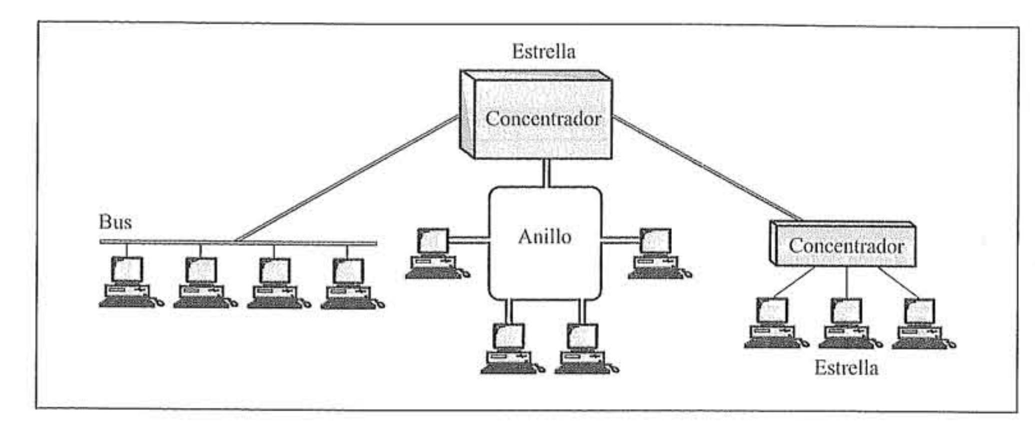


Figura 2.10. *Topología híbrida.*

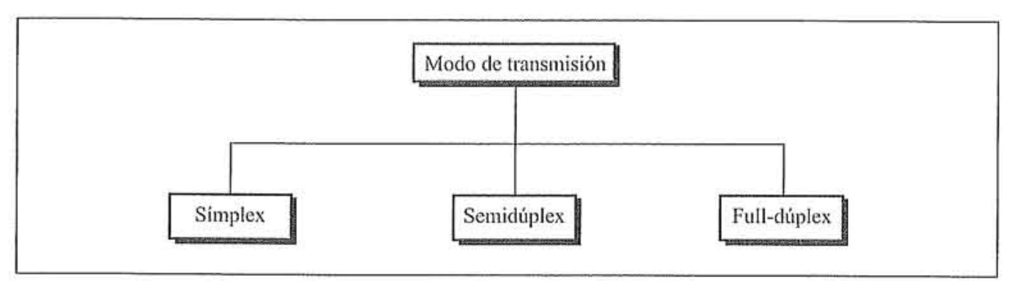


Figura 2.11. *Modos de transmisión.*

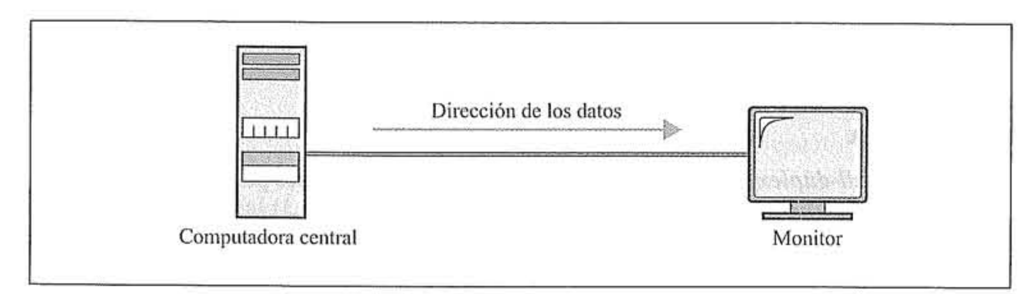


Figura 2.12. *Símplex*

> El término modo de transmisión se refiere a la dirección del flujo de información entre dos dispositivos.

Los teclados y los monitores tradicionales son ejemplos de dispositivos símplex. El teclado solamente puede introducir datos; el monitor solamente puede aceptar datos de salida.

Semidúplex

En el **modo semidúplex,** cada estación puede tanto enviar como recibir, pero no al mismo tiempo. Cuando un dispositivo está enviando, el otro sólo puede recibir, y viceversa (véase la Figura 2.13).

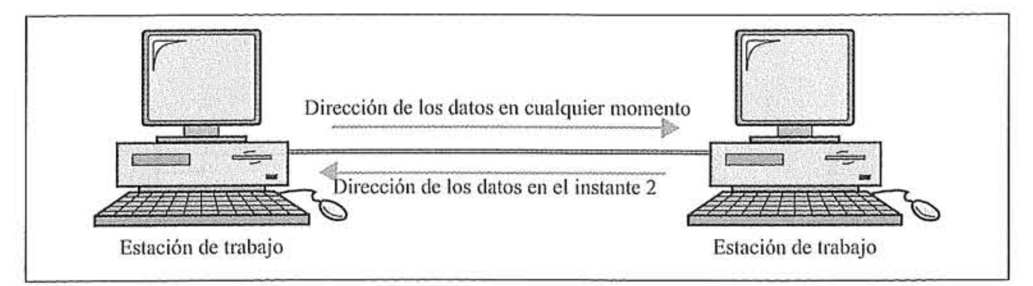


Figura 2.13. *Semidúplex.*

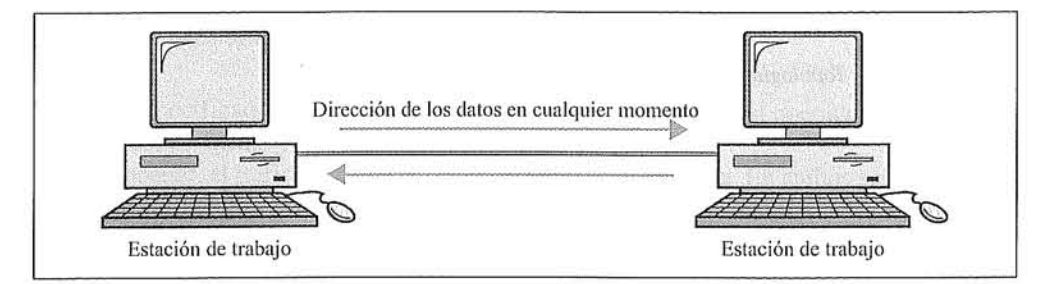


Figura 2.14. *Full-Dúplex.*

El modo semidúplex es similar a una calle con un único carril y tráfico en dos direcciones. Mientras los coches viajan en una dirección, los coches que van en sentido contrario deben esperar. En la transmisión semidúplex, la capacidad total del canal es usada por aquel de los dos dispositivos que está transmitiendo. Los *walkie-talkies* y las radios CB (*Citizen's Band*) son ejemplos de sistemas semidúplex.

Full-Dúplex

En el **modo *full-dúplex*** (también llamado **dúplex**), ambas estaciones pueden enviar y recibir simultáneamente (véase la Figura 2.14).

El modo *full-dúplex* es como una calle de dos sentidos con tráfico que fluye en ambas direcciones al mismo tiempo. En el modo *full-dúplex*, las señales que van en cualquier dirección deben compartir la capacidad del enlace. Esta compartición puede ocurrir de dos formas: o bien el enlace debe contener caminos de transmisión físicamente separados, uno para enviar y otro para recibir, o es necesario dividir la capacidad del canal entre las señales que viajan en direcciones opuestas.

Un ejemplo habitual de comunicación *full-dúplex* es la red telefónica. Cuando dos personas están hablando por teléfono, ambas pueden hablar y recibir al mismo tiempo.

2.4. CLASES DE REDES

Actualmente, cuando se habla de redes, se suele hablar de tres clases principales: redes de área local, redes de área metropolitana y redes de área amplia. A qué clase pertenece una red se determina por su tamaño, su propietario, la distancia que cubre y su arquitectura física (véase la Figura 2.15).

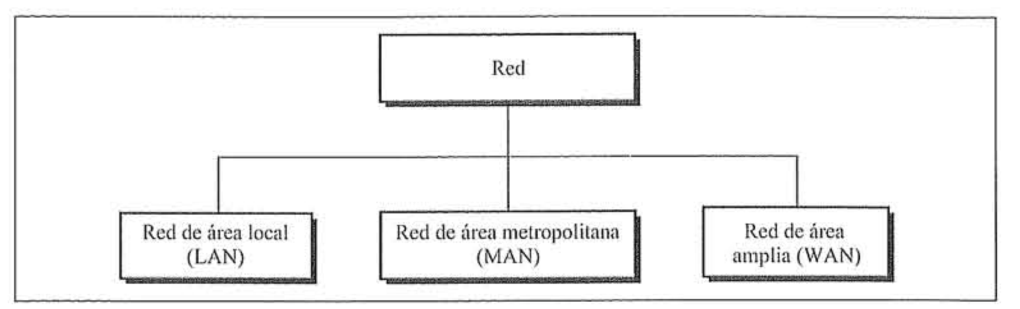


Figura 2.15. *Clases de redes.*

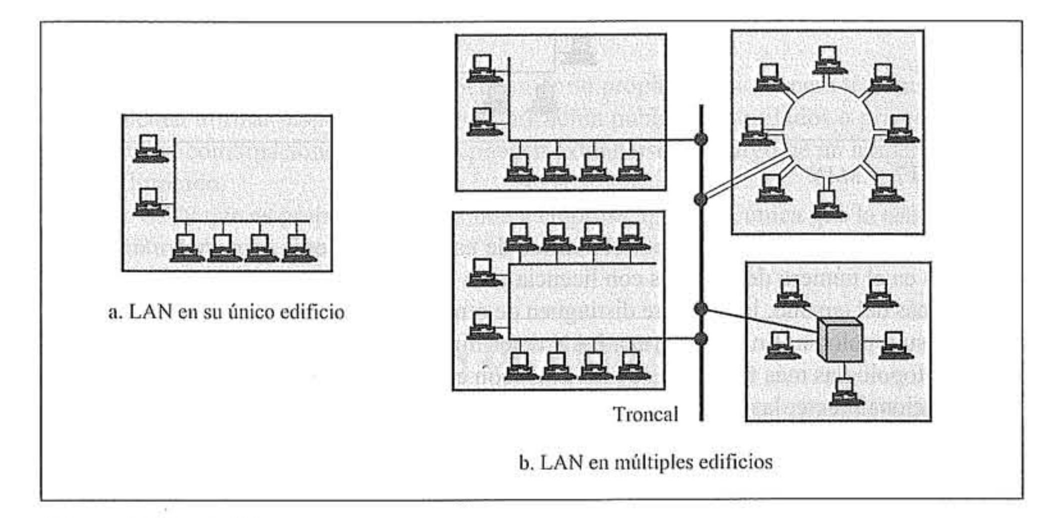


Figura 2.16. *LAN.*

Red de área local (LAN)

Una **red de área local (LAN,** *Local Area Network*) suele ser una red de propiedad privada que conecta enlaces de una única oficina, edificio o campus (véase la Figura 2.16). Dependiendo de las necesidades de la organización donde se instale y del tipo de tecnología utilizada, una LAN puede ser tan sencilla como dos PC y una impresora situados en la oficina de la casa de alguien o se puede extender por toda una empresa e incluir voz, sonido y periféricos de vídeo. En la actualidad, el tamaño de las LAN está limitado a unos pocos kilómetros.

Las LAN están diseñadas para permitir compartir recursos entre computadoras personales o estaciones de trabajo. Los recursos a compartir pueden incluir *hardware* (por ejemplo, una impresora), *software* (por ejemplo, un programa de aplicación) o datos. Un ejemplo frecuente de LAN, que se encuentra en muchos entornos de negocios, enlaza un grupo de trabajo de computadoras relacionadas con una cierta tarea, como, por ejemplo, estaciones de trabajo de ingeniería o PC de contabilidad. Una de las computadoras puede tener un disco de gran capacidad y convertirse en servidora de los otros clientes. El *software* se puede almacenar en este servidor central para que sea usado por todo el grupo según las necesidades de cada miembro. En este ejemplo, el tamaño de la LAN puede estar determinado por restric-

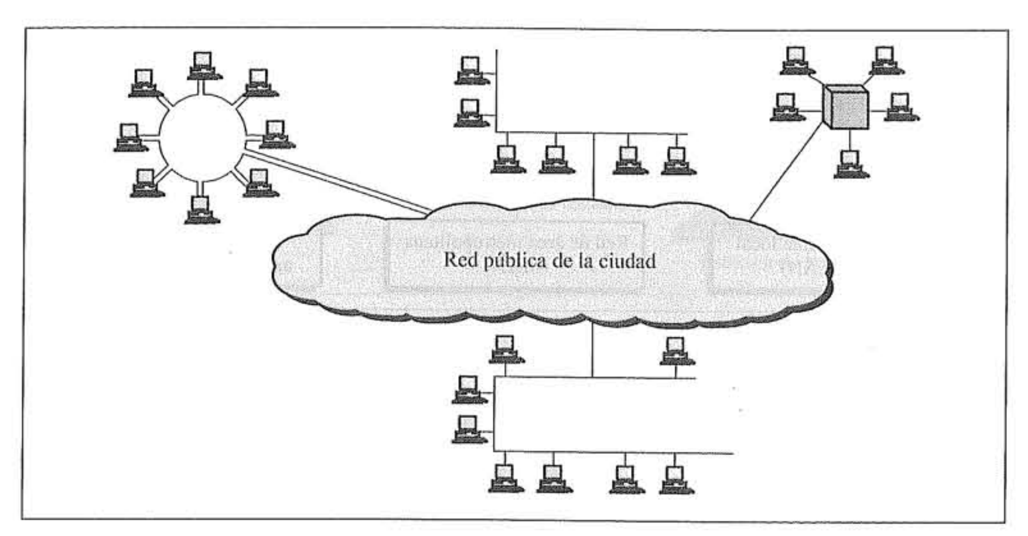


Figura 2.17. *MAN.*

ciones en el número de licencias, por el número de usuarios por copia de *software* o por restricciones en el número de usuarios con licencia para acceder al sistema operativo.

Además del tamaño, las LAN se distinguen de otros tipos de redes por su medio de transmisión y su topología. En general, una LAN determinada usará un único medio de transmisión. Las topologías más frecuentes de las LAN son el bus, el anillo y la estrella.

Tradicionalmente, las LAN tienen tasas de datos en un rango de entre 4 y 16 Mbps. Sin embargo, actualmente las velocidades se han incrementado y pueden alcanzar los 100 Mbps e incluso velocidades de gigabits. Las LAN se tratan en profundidad en el Capítulo 12.

Redes de área metropolitana (MAN)

La **red de área metropolitana (MAN,** *Metropolitan Area Network*) ha sido diseñada para que se pueda extender a lo largo de una ciudad entera. Puede ser una red única, como una red de televisión por cable, o puede ser una forma de conectar un cierto número de LAN en una red mayor, de forma que los recursos puedan ser compartidos de LAN a LAN y de dispositivo a dispositivo. Por ejemplo, una empresa puede usar una MAN para conectar las LAN de todas sus oficinas dispersas por la ciudad (véase la Figura 2.17).

Una MAN puede ser propiedad totalmente por una empresa privada, que será su operadora, o puede ser un servicio proporcionado por una empresa de servicio público, como una empresa de telefonía local. Muchas compañías telefónicas tienen un servicio muy popular de MAN denominado Servicios de Conmutación de Datos Multimegabit (SMDS, *Switched Multimegabit Data Service*), que se trata en el Capítulo 13.

Red de área amplia (WAN)

Una **red de área ámplia (WAN,** *Wide Area Network*) proporciona un medio de transmisión a larga distancia de datos, voz, imágenes e información de vídeo sobre grandes áreas geográficas que pueden extenderse a un país, un continente o incluso el mundo entero (véase la Figura 2.18).

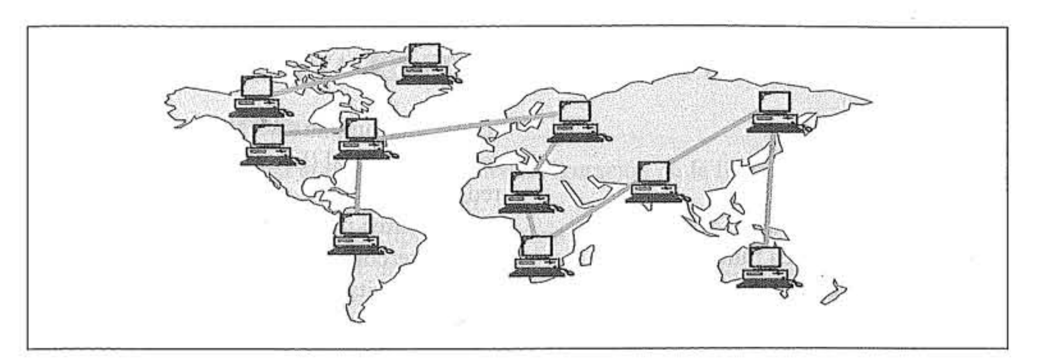


Figura 2.18. *WAN.*

En contraste con las LAN (que dependen de su propio *hardware* para transmisión), las WAN pueden utilizar dispositivos de comunicación públicos, alquilados o privados, habitualmente en combinaciones, y además pueden extenderse a lo largo de un número de kilómetros ilimitado.

Una WAN que es propiedad de una única empresa, que es la única que la usa, se denomina habitualmente red de empresa.

2.5. INTERCONEXIÓN DE REDES

Cuando dos o más redes se conectan, se convierten en una **interred**, o **internet** (véase la Figura 2.19; en la figura, las cajas etiquetadas con una R representan encaminadores). Las redes individuales se unen para formar redes más complejas usando dispositivos de conexión. Estos dispositivos, que incluyen encaminadores y pasarelas, se tratan en el Capítulo 21. El término *internet* (con la i en minúscula) no debería confundirse con el término **Internet** (con la I en mayúscula). El primero es un término genérico usado para determinar una serie de redes interconectadas. El segundo es el nombre de una red específica de ámbito mundial.

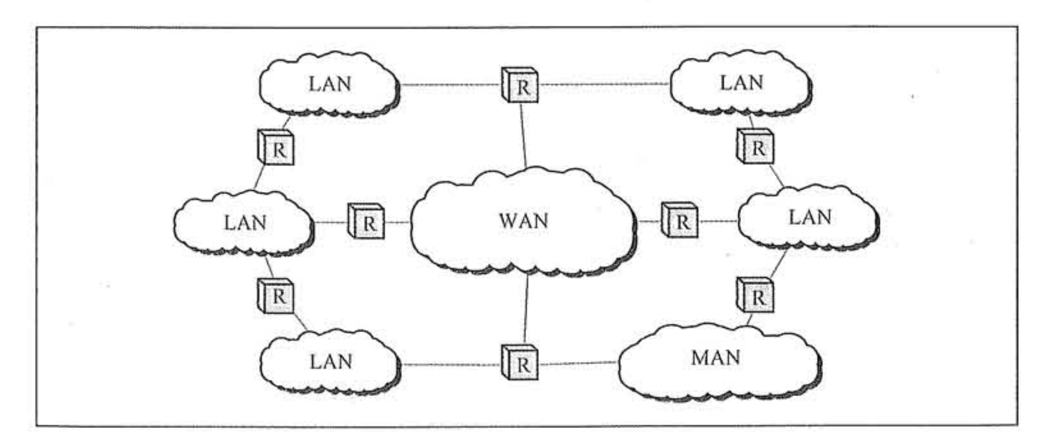


Figura 2.19. *Redes interconectadas (internet).*

2.6. TÉRMINOS Y CONCEPTOS CLAVE

concentrador
concentrador activo
concentrador pasivo
configuración de línea
configuración de línea multiconexión
configuración de línea multipunto
configuración de línea punto a punto
enlace
internet
Internet
modo dúplex
modo *full-dúplex*
modo semidúplex
modo símplex
nodo
red de área amplia (WAN)
red de área local (LAN)
red troncal
redes de área metropolitana (MAN)
redes interconectadas
relación paritaria
relación primario-secundario
topología
topología de bus
topología en anillo
topología en árbol
topología en estrella
topología en malla
topología híbrida

2.7. RESUMEN

- La configuración de la línea define la relación entre los dispositivos que se comunican a través de un determinado camino.
- En una configuración de línea punto a punto, dos, y únicamente dos, dispositivos se conectan a través de un enlace dedicado.
- En una configuración de línea multipunto, tres o más dispositivos comparten un enlace.
- La topología se refiere a la disposición física o lógica de una red. Los dispositivos se pueden disponer en una malla, estrella, árbol, bus, anillo o topología híbrida.
- La comunicación entre dos dispositivos puede ocurrir en tres modos de transmisión: símplex, semidúplex o *full-dúplex*.
- La transmisión símplex significa que los datos fluyen únicamente en una dirección.
- La transmisión semidúplex significa que los datos fluyen en las dos direcciones, pero no al mismo tiempo.
- La transmisión *full-dúplex* permite que los datos vayan en las dos direcciones al mismo tiempo.
- Una red se puede clasificar como una red de área local (LAN), una red de área metropolitana (MAN) o una red de área amplia (WAN).
- Una LAN es un sistema de transmisión de datos dentro de un edificio, una planta, un campus o entre edificios cercanos.
- Una MAN es un sistema de transmisión de datos que puede cubrir un área del tamaño de una ciudad.
- Una WAN es un sistema de transmisión de datos que se puede extender a través de estados, países o por todo el mundo.
- Una internet es una red de redes.

2.8. MATERIAL PRÁCTICO

Preguntas de revisión

1. ¿Cómo se relaciona la topología con la configuración de la línea?
2. Defina los tres modos de transmisión.
3. Indique las ventajas de cada tipo de topología de red.
4. ¿Cuáles son las ventajas de una conexión multipunto sobre una conexión punto a punto?
5. ¿Cuáles son los factores que determinan que un sistema de comunicación sea una LAN, MAN o WAN?
6. ¿Cuáles son los dos tipos de configuración de línea?
7. Enumere las cinco topologías básicas de red.
8. Distinga entre una relación paritaria y una relación primario-secundario.
9. Indique una desventaja de cada tipo de topología de red.
10. Dé una fórmula que indique el número de cables necesario para una topología de red en malla.
11. Caracterice las cinco topologías básicas en términos de configuración de línea.
12. Para una red con n dispositivos, ¿cuál es el número de enlaces de cable necesarios para una malla, un anillo, un bus y una topología en estrella?
13. ¿Cuál es la diferencia entre un concentrador central y un concentrador secundario? ¿Cuál es la diferencia entre un concentrador activo y un concentrador pasivo? ¿Cómo se interrelacionan estas dos clases?
14. ¿Cuál es el factor que limita el tamaño de una topología de red en bus? Incluya un razonamiento acerca de los conectores en su respuesta.
15. Para cada tipo de topología de red, indique las implicaciones de que exista un fallo de un único cable.
16. ¿Qué es una internet? ¿Qué es Internet?

Preguntas con respuesta múltiple

17. ¿Qué topología necesita un controlador central o un concentrador?
    a. malla
    b. estrella
    c. bus
    d. anillo
18. ¿Qué topología necesita una conexión multipunto?
    a. malla
    b. estrella
    c. bus
    d. anillo
19. La comunicación entre una computadora y un teclado implica una transmisión ______.
    a. símplex
    b. semidúplex
    c. *full-dúplex*
    d. automática
20. En una red con 25 computadoras, ¿qué topología necesitaría el cableado más extenso?
    a. malla

b. estrella
c. bus
d. anillo

21. Una topología en árbol es una variación de una topología en ______.
a. malla
b. estrella
c. bus
d. anillo

22. La emisión de televisión es un ejemplo de transmisión _____.
a. símplex
b. semidúplex
c. *full-dúplex*
d. automática

23. En una topología en _____, hay n dispositivos en la red cada dispositivo tiene $n - 1$ puertos para los cables.
a. malla
b. estrella
c. bus
d. anillo

24. Una conexión _____ proporciona un enlace dedicado entre dos dispositivos.
a. punto a punto
b. multipunto
c. primario
d. secundario

25. En una conexión _____, más de dos dispositivos pueden compartir un único enlace.
a. punto a punto
b. multipunto
c. primario
d. secundario

26. En la transmisión _____, la capacidad del canal es siempre compartida por los dos dispositivos que se comunican.
a. símplex
b. semidúplex
c. *full-dúplex*
d. semisímplex

27. MacKenzie Publishing, con oficinas centrales en Londres y otras oficinas en Asia, Europa y Sudamérica, está probablemente conectada por una _____.
a. LAN
b. MAN
c. WAN
d. ninguna de las anteriores

28. BAF Fontaneros tiene una red formada por dos estaciones de trabajo y una impresora. Esta red es probablemente una _____.
a. LAN
b. MAN
c. WAN
d. ninguna de las anteriores

29. ¿Qué topología se caracteriza por tener una configuración de línea punto a punto?
a. malla
b. anillo
c. estrella
d. ninguna de las anteriores

30. En un enlace _____ el único tráfico existente se da entre los dos dispositivos conectados.
a. secundario
b. primario
c. dedicado
d. ninguno de los anteriores

31. En una topología en malla, la relación entre un dispositivo y otro es _____.
a. primario a igual
b. igual a primario
c. primario a secundario
d. paritaria

32. Una rotura de cable en una topología en _____ detiene toda la transmisión.
a. malla
b. bus
c. estrella
d. primario

33. Una red que contiene múltiples concentradores está configurada muy probablemente como una topología en _____.
a. malla
b. árbol
c. bus
d. estrella

34. La seguridad y la privacidad no son un tema importante para dispositivos conectados en una topología en ____.
a. malla
b. árbol
c. bus
d. estrella

Ejercicios

35. Suponga que hay seis dispositivos conectados con una topología en malla. ¿Cuántos cables son necesarios? ¿Cuántos puertos se necesitan para cada dispositivo?
36. Defina el tipo de la topología de la Figura 2.20.
37. Defina el tipo de topología de la Figura 2.21.
38. Defina el tipo de topología de la Figura 2.22.
39. Defina el tipo de topología de la Figura 2.23.
40. Defina el tipo de topología de la Figura 2.24.
41. ¿Cuál de las redes de la Figura 2.25 es una topología en anillo?
42. Para cada una de las cuatro redes siguientes, indique las consecuencias de un fallo en una conexión:
a. Cinco dispositivos conectados en una topología de malla.
b. Cinco dispositivos conectados en una topología en estrella (sin contar el concentrador).

Figura 2.20. *Ejercicio 36.*

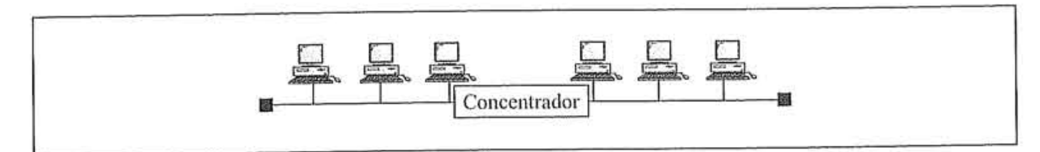


Figura 2.21. *Ejercicio 37.*

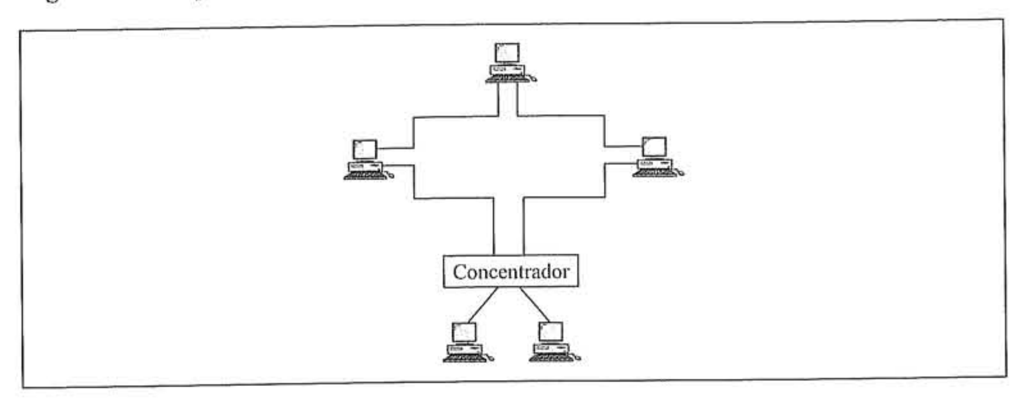


Figura 2.22. *Ejercicio 38.*

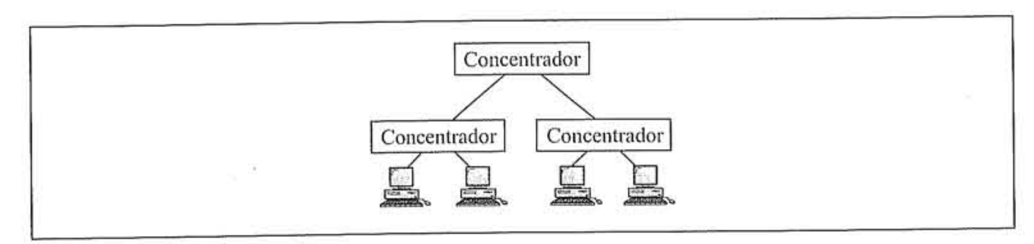


Figura 2.23. *Ejercicio 39.*

c. Cinco dispositivos conectados en una topología en bus.
d. Cinco dispositivos conectados en una topología en anillo.

43. Dibuje una topología híbrida con una topología troncal en estrella y tres redes en anillo.
44. Dibuje una topología híbrida con una troncal en anillo y dos redes de tipo bus.
45. Dibuje una topología híbrida con una troncal de bus que conecta dos troncales en anillo. Cada troncal en anillo conecta tres redes en estrella.



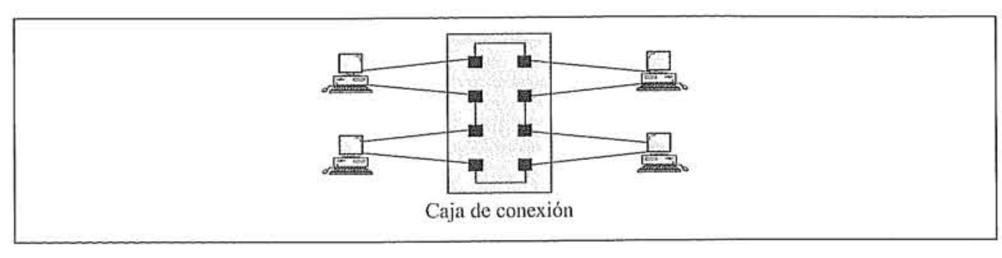


Figura 2.24. *Ejercicio 40.*

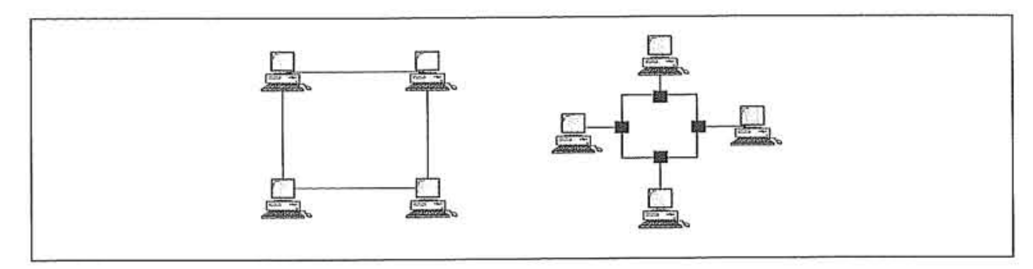


Figura 2.25. *Ejercicio 41.*

46. Dibuje una topología híbrida con una troncal en estrella que conecta dos buses troncales. Cada bus troncal conecta tres redes en anillo.
47. Una red contiene cuatro computadoras. Si hay solamente cuatro trozos de cable en esta red, ¿qué topología se usa?
48. Relacione los conceptos siguientes con una topología de red (cada uno se puede aplicar a más de una topología):
    a. Se pueden añadir nuevos dispositivos fácilmente.
    b. El control se efectúa a través de un nodo central.
    c. El tiempo de transmisión se gasta reenviando los datos a través de nodos intermedios.
49. Suponga que se añaden dos dispositivos nuevos a una red ya existente que tiene cinco dispositivos. Si se tiene una topología en malla totalmente conectada, ¿cuántas nuevas líneas de cable serán necesarias? Sin embargo, si los dispositivos están colocados en anillo, ¿cuántas líneas de cable serán necesarias?
50. Cinco computadoras están conectadas a un cable común en una configuración multipunto. El cable puede transferir únicamente 100.000 bits por segundo. Si todas las computadoras tienen datos para enviar, ¿cuál es la tasa media de datos para cada computadora?
51. Cuando alguien hace una llamada telefónica local a otra persona, ¿está usando una configuración de línea punto a punto o multipunto? Explique su respuesta.
52. ¿Qué modo de transmisión (símplex, semidúplex o *full-dúplex*) se puede comparar a los siguientes? Justifique su respuesta.
    a. Una discusión entre Lucía y Desi.
    b. Una conexión computadora a monitor.
    c. Una conversación educada entre tía Gertrudis y tía Rowena.
    d. Una emisión por televisión.
    e. Una línea de tren reversible.
    f. Un torniquete.

CAPÍTULO 3
El modelo OSI

Creada en 1947, la Organización Internacional de Estandarización (ISO, *International Standards Organization*) es un organismo multinacional dedicado a establecer acuerdos mundiales sobre estándares internacionales. Un estándar ISO que cubre todos los aspectos de las redes de comunicación es el modelo de **Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI,** *Open System Interconnection*). Un **sistema abierto** es un modelo que permite que dos sistemas diferentes se puedan comunicar independientemente de la arquitectura subyacente. Los protocolos específicos de cada vendedor no permiten la comunicación entre dispositivos no relacionados. El objetivo del modelo OSI es permitir la comunicación entre sistemas distintos sin que sea necesario cambiar la lógica del *hardware* o el *software* subyacente. El modelo OSI no es un protocolo; es un modelo para comprender y diseñar una arquitectura de red flexible, robusta e interoperable.

ISO es la organización. OSI es el modelo.

3.1. EL MODELO

El modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos es una arquitectura por *niveles* para el diseño de sistemas de red que permite la comunicación entre todos los tipos de computadoras. Está compuesto por siete niveles separados, pero relacionados, cada uno de los cuales define un segmento del proceso necesario para mover la información a través de una red (véase la Figura 3.1). Comprender los aspectos fundamentales del modelo OSI proporciona una base sólida para la exploración de la transmisión de datos.

Arquitectura por niveles

El modelo OSI está compuesto por siete niveles ordenados: el físico (nivel 1), el de enlace de datos (nivel 2), el de red (nivel 3), el de transporte (nivel 4), el de sesión (nivel 5), el de presentación (nivel 6) y el de aplicación (nivel 7). La Figura 3.2 muestra los niveles involucrados en el envío de un mensaje del dispositivo A al dispositivo B. A medida que el mensaje viaja de A a B, puede pasar a través de muchos nodos intermedios. Estos nodos intermedios sólo tienen habitualmente los tres primeros niveles del modelo OSI. Al desarrollar el modelo, los diseñadores refinaron el proceso de transmisión de datos hasta los elementos más fun-

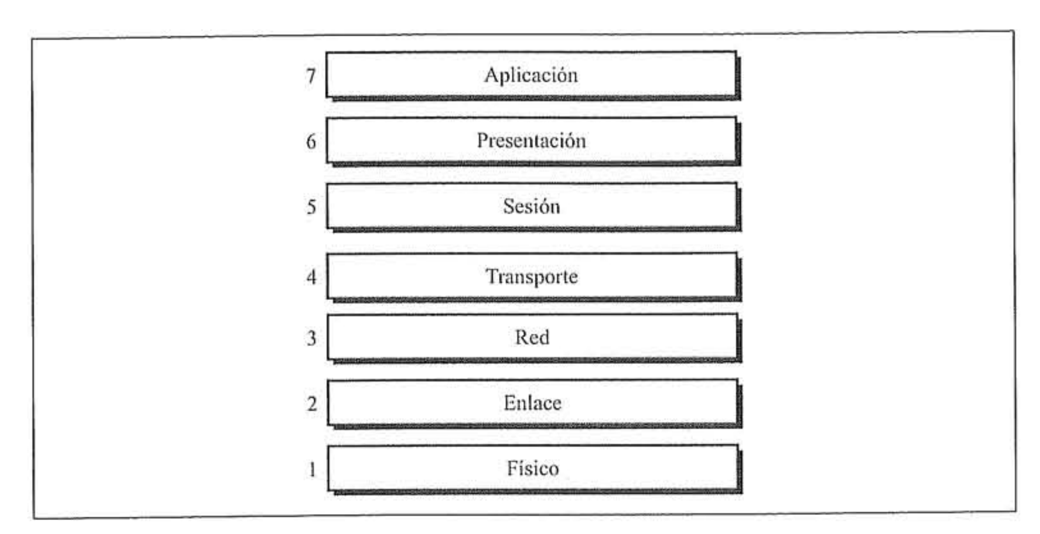


Figura 3.1. *El modelo OSI.*

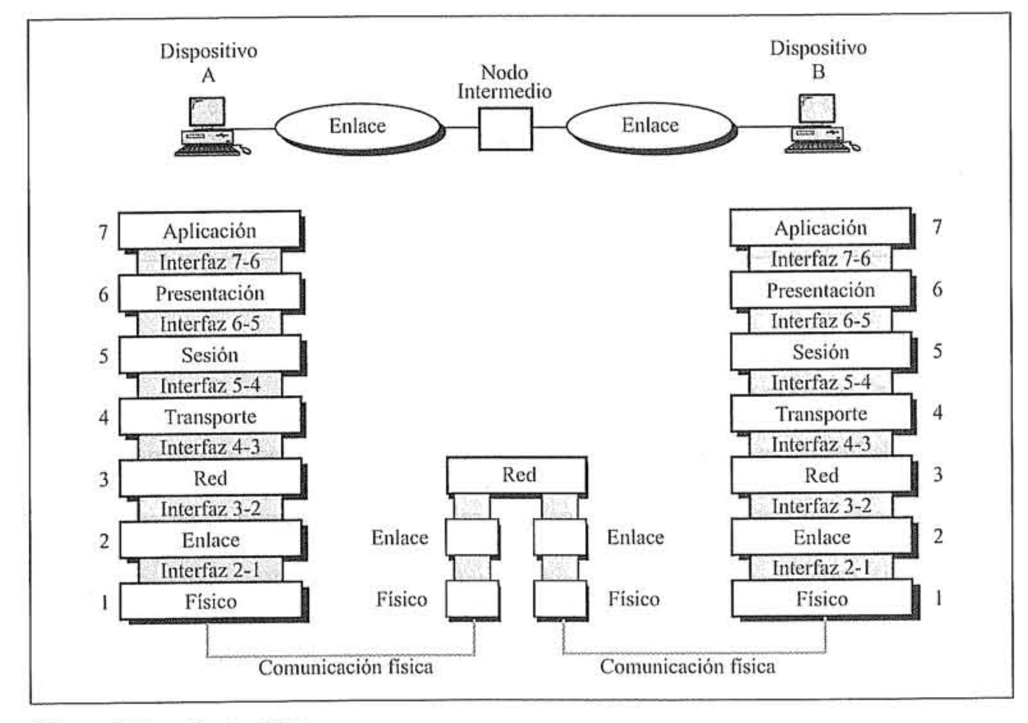


Figura 3.2. *Niveles OSI.*

damentales. Identificaron qué funciones tienen usos relacionados y unieron todas las funciones dentro de grupos discretos que se convirtieron en niveles. Cada nivel define una familia de funciones distintas de las de los otros niveles. Definiendo y asignando la funcionalidad de esta forma, los diseñadores crearon una arquitectura que es a la vez completa y flexible. Y lo

más importante es que el modelo OSI permite una transparencia completa entre sistemas que de otra forma serían incompatibles.

> Una regla mnemotécnica para recordar los niveles del modelo OSI es: Felipe Está Riendo Tras Su Papá Andrés (Físico, Enlace de datos, Red, Transporte, Sesión, Presentación, Aplicación).

Procesos paritarios

Dentro de una máquina, cada nivel llama a los servicios del nivel que está justo por debajo. Por ejemplo, el nivel 3 usa los servicios que proporciona el nivel 2 y proporciona servicios al nivel 4. Entre máquinas, el nivel x de una máquina se comunica con el nivel x de la otra. La comunicación se gobierna mediante una serie de reglas y convenciones acordadas que se denominan protocolos. Los procesos de cada máquina que se pueden comunicar en un determinado nivel se llaman **procesos paritarios.** La comunicación entre máquinas es por tanto un proceso entre iguales a través de los protocolos apropiados para cada nivel.

En el nivel físico, la comunicación es directa: la máquina A envía un flujo de bits a la máquina B. Sin embargo, en los niveles más altos la comunicación debe ir hacia abajo por los distintos niveles de la máquina A, hasta la máquina B y luego subir otra vez a través de los niveles de la máquina B. Cada nivel de la máquina emisora añade su propia información al mensaje recibido del nivel superior y pasa todo el paquete al nivel inferior. La información se añade en forma de **cabeceras** o **colas** (datos de control añadidos al principio o al final de un paquete de datos). Las cabeceras se añaden al mensaje en los niveles 6, 5, 4, 3 y 2. En el nivel 2 se añade una cola.

> Las cabeceras se añaden a los datos en los niveles 6, 5, 4, 3 y 2. Las colas se añaden habitualmente sólo en el nivel 2.

En el nivel 1 se convierte todo el paquete al formato en que se puede transferir hasta la máquina receptora. En la máquina receptora, el mensaje es extraído nivel por nivel, en los cuales cada proceso procesa y elimina los datos que son para él. Por ejemplo, el nivel 2 elimina los datos que son para él y luego pasa el resto al nivel 3. El nivel 3 elimina los datos que son para él y pasa el resto al nivel 4, y así continuamente.

Interfaces entre niveles

El paso de los datos y la información de la red a través de los distintos niveles de la máquina emisora, y la subida a través de los niveles de la máquina receptora, es posible porque hay una **interfaz** entre cada par de niveles adyacentes. Cada interfaz define qué información y servicios debe proporcionar un nivel al nivel superior. Las interfaces bien definidas y las funciones de los niveles proporcionan modularidad a la red. Mientras un nivel siga proporcionando los servicios esperados al nivel que está por encima de él, la implementación específica de sus funciones puede ser modificada o reemplazada sin necesidad de cambios en los niveles adyacentes.

Organización de los niveles

Se puede pensar que los siete niveles pertenecen a tres subgrupos. Los niveles 1, 2 y 3 –físico, enlace y red– son los niveles de soporte de red. Tienen que ver con los aspectos físicos de

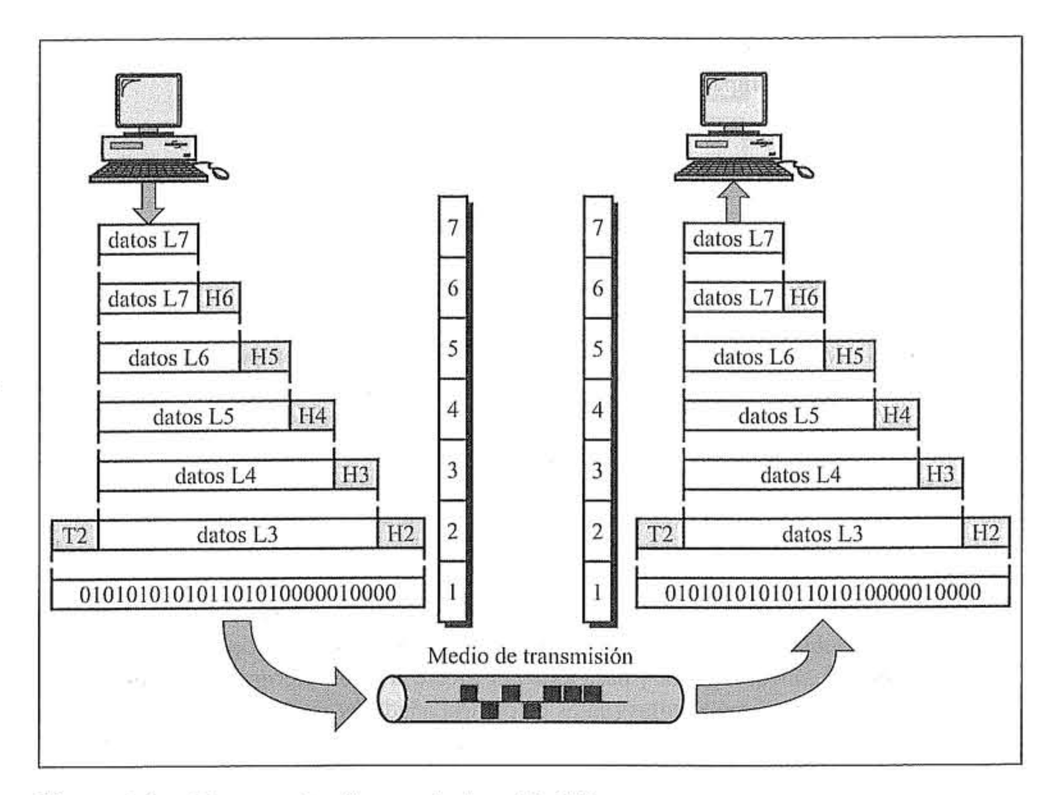


Figura 3.3. *Una comunicación usando el modelo OSI.*

la transmisión de los datos de un dispositivo a otro (como especificaciones eléctricas, conexiones físicas, direcciones físicas y temporización de transporte y fiabilidad). Los niveles 5, 6 y 7 –sesión, presentación y aplicación– proporcionan servicios de soporte de usuario. Permiten la interoperabilidad entre sistemas *software* no relacionados. El nivel 4, nivel de transporte, asegura la transmisión fiable de datos de extremo a extremo, mientras que el nivel 2 asegura la transmisión fiable de datos en un único enlace. Los niveles superiores de OSI se implementan casi siempre en *software*; los niveles inferiores son una combinación de *hardware* y *software*, excepto el nivel físico, que es principalmente hardware.

En la Figura 3.3, que da una visión global de los niveles OSI, datos L7 representa a las unidades de datos en el nivel 7, datos L6 representa a las unidades de datos en el nivel 6 y así sucesivamente. El proceso empieza en el nivel 7 (el nivel de aplicación) y a continuación se mueve de nivel a nivel en orden secuencial descendente. En cada nivel (exceptuando los niveles 7 y 1), se añade una cabecera a la unidad de datos. En el nivel 2, se añade también una cola. Cuando las unidades de datos formateadas pasan a través del nivel físico (nivel 1) se transforman en señales electromagnéticas y se transportan por el enlace físico.

Después de alcanzar su destino, la señal pasa al nivel 1 y se transforma de nuevo en bits. A continuación, las unidades de datos ascienden a través de los niveles OSI. A medida que cada bloque de datos alcanza el nivel superior siguiente, las cabeceras y las colas asociadas al mismo en los correspondientes niveles emisores se eliminan y se efectúan las acciones apropiadas de ese nivel. Para cuando los datos alcanzan el nivel 7, el mensaje está otra vez en un formato apropiado para la aplicación y se puede poner a disposición del receptor.

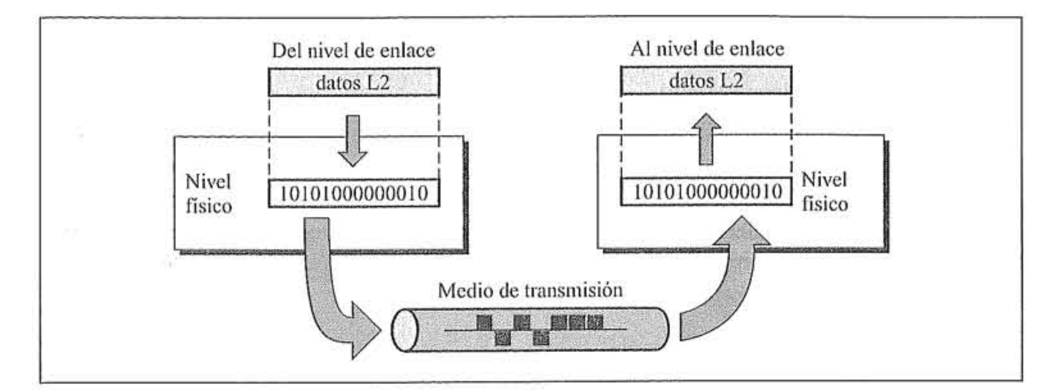


Figura 3.4. *Nivel físico.*

3.2. FUNCIONES DE LOS NIVELES

En esta sección se describen brevemente las funciones de cada nivel del modelo OSI.

Nivel físico

El **nivel físico** coordina las funciones necesarias para transmitir el flujo de datos a través de un medio físico. Trata con las especificaciones eléctricas y mecánicas de la interfaz y del medio de transmisión. También define los procedimientos y las funciones que los dispositivos físicos y las interfaces tienen que llevar a cabo para que sea posible la transmisión. La Figura 3.4 muestra la posición del enlace físico con respecto al medio de transmisión y al enlace de datos.

El nivel físico se relaciona con lo siguiente:

- **Características físicas de las interfaces y el medio.** El nivel físico define las características de la interfaz entre los dispositivos y el medio de transmisión. También define el tipo de medio de transmisión (véase el Capítulo 7).
- **Representación de los bits.** Los datos del nivel físico están compuestos por un flujo de **bits** (secuencias de ceros y unos) sin ninguna interpretación. Para que puedan ser transmitidos, es necesario codificarlos en señales, eléctricas u ópticas. El nivel físico define el tipo de **codificación** (como los ceros y unos se cambian en señales).
- **Tasa de datos.** El nivel físico también define la **tasa de transmisión:** el número de bits enviados cada segundo. En otras palabras, el nivel físico define la duración de un bit, es decir, cuánto tiempo dura.
- **Sincronización de los bits.** El emisor y el receptor deben estar sincronizados a nivel de bit. En otras palabras, los relojes del emisor y el receptor deben estar sincronizados.
- **Configuración de la línea.** El nivel físico está relacionado con la conexión de dispositivos al medio. En una configuración *punto a punto* se conectan dos dispositivos a través de un enlace dedicado. En una configuración *multipunto*, un enlace es compartido por varios dispositivos.
- **Topología física.** La topología física define cómo están conectados los dispositivos para formar una red. Los dispositivos deben estar conectados usando una *topología en malla* (cada dispositivo conectado a otro dispositivo), una *topología en estrella* (dispositivos

conectados a través de un dispositivo central), una *topología en anillo* (un dispositivo conectado al siguiente, formando un anillo) o una *topología de bus* (cada dispositivo está conectado a un enlace común).

- **Modo de transmisión.** El nivel físico también define la dirección de la transmisión entre dos dispositivos: símplex, semidúplex o full-dúplex. En el *modo símplex* solamente un dispositivo puede enviar; el otro sólo puede recibir. El modo símplex es una comunicación en un solo sentido. En el modo *semidúplex,* dos dispositivos pueden enviar o recibir, pero no al mismo tiempo. En el modo *full-dúplex* (o simplemente dúplex), dos dispositivos pueden enviar o recibir al mismo tiempo.

Nivel de enlace de datos

El **nivel de enlace de datos** transforma el nivel físico, un simple medio de transmisión, en un enlace fiable y es responsable de la entrega **nodo a nodo.** Hace que el nivel físico aparezca ante el nivel superior (nivel de red) como un medio libre de errores. La Figura 3.5 muestra la relación del nivel de enlace de datos con los niveles de red y físico.

Entre las responsabilidades específicas del nivel de enlace de datos se incluyen las siguientes:

- **Tramado.** El nivel de enlace de datos divide el flujo de bits recibidos del nivel de red en unidades de datos manejables denominadas **tramas.**
- **Direccionamiento físico.** Si es necesario distribuir las tramas por distintos sistemas de la red, el nivel de enlace de datos añade una cabecera a la trama para definir la **dirección física** del emisor (**dirección fuente**) y/o receptor (**dirección destino**) de la trama. Si hay que enviar la trama a un sistema fuera de la red del emisor, la dirección del receptor es la dirección del dispositivo que conecta su red a la siguiente.
- **Control de flujo.** Si la velocidad a la que el receptor recibe los datos es menor que la velocidad de transmisión del emisor, el nivel de enlace de datos impone un mecanismo de control de flujo para prevenir el desbordamiento del receptor.
- **Control de errores.** El nivel de enlace de datos añade fiabilidad al nivel físico al incluir mecanismos para detectar y retransmitir las tramas defectuosas o perdidas. También usa un mecanismo para prevenir la duplicación de tramas. El control de errores se consigue normalmente a través de una cola que se añade al final de la trama.

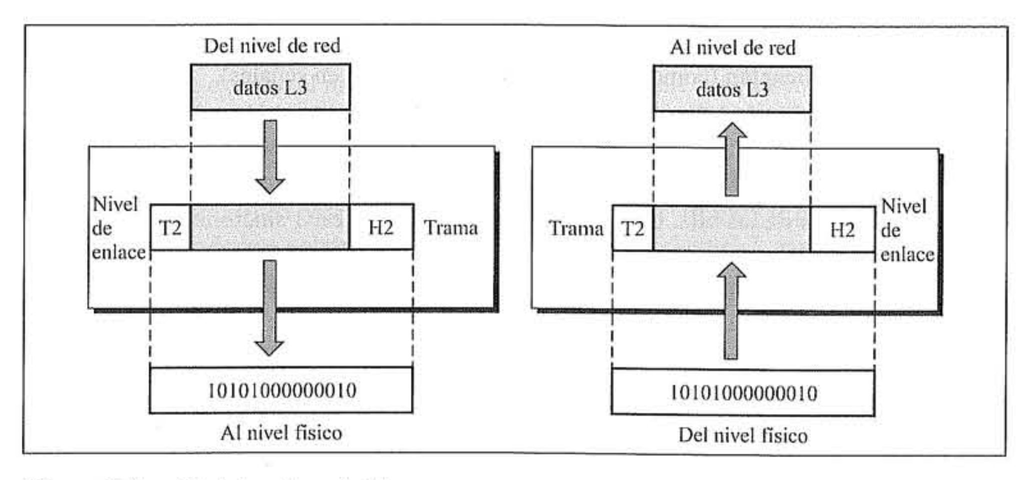


Figura 3.5. *Nivel de enlace de datos.*

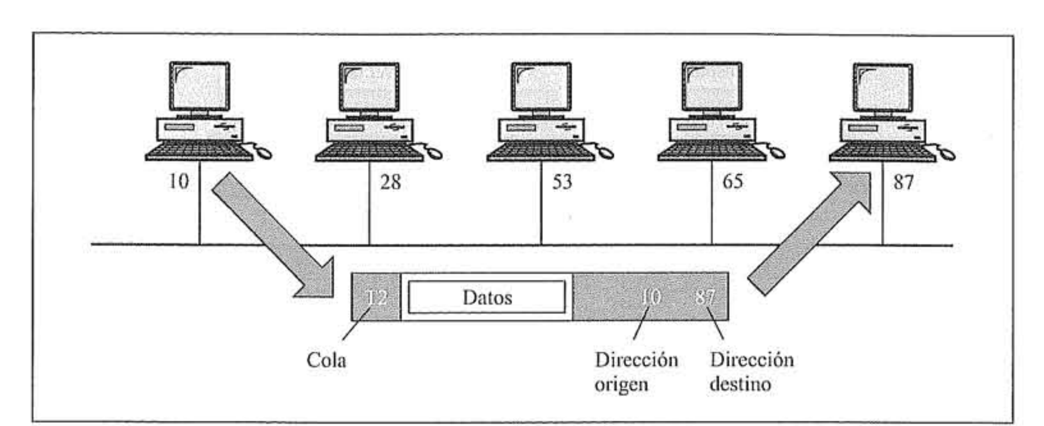


Figura 3.6. *Nivel de enlace de datos (Ejemplo 3.1).*

- **Control de acceso.** Cuando se conectan dos o más dispositivos al mismo enlace, los protocolos de nivel de enlace deben determinar en todo momento qué dispositivo tiene el control del enlace.

Ejemplo 3.1

En la Figura 3.6 un nodo con dirección física 10 envía una trama a un nodo con dirección física 87. Ambos nodos están conectados por un enlace. En el nivel de enlace de datos la trama contiene direcciones físicas (enlaces) en la cabecera. Estas son las únicas direcciones necesarias. El resto de la cabecera contiene la información necesaria para este nivel. La cola contiene habitualmente algunos bits extra que son necesarios para la detección de errores.

Nivel de red

El **nivel de red** es responsable de la entrega de un paquete desde el origen al destino y, posiblemente, a través de múltiples redes (enlaces). Mientras que el nivel de enlace de datos supervisa la entrega del paquete entre dos sistemas de la misma red (enlaces), el nivel de red asegura que cada paquete va del origen al destino, sean estos cuales sean.

Si dos sistemas están conectados al mismo enlace, habitualmente no hay necesidad de un nivel de red. Sin embargo, si dos sistemas están conectados a redes distintas (enlaces) con dispositivos de conexión entre ellas (enlaces), suele ser necesario tener un nivel de red para llevar a cabo la entrega desde el origen al destino. La Figura 3.7 muestra la relación del nivel de red con el nivel de enlace de datos y el de transporte.

Las responsabilidades específicas del nivel de red incluyen:

- **Direccionamiento lógico.** El direccionamiento físico proporcionado por el nivel de enlace de datos gestiona los problemas de direcciones locales. Si un paquete cruza la frontera de la red, es necesario tener otro tipo de direcciones para distinguir los sistemas origen de los del destino. El nivel de red añade una cabecera al paquete que viene del nivel superior que, entre otras cosas, incluye las **direcciones lógicas** del emisor y el receptor.

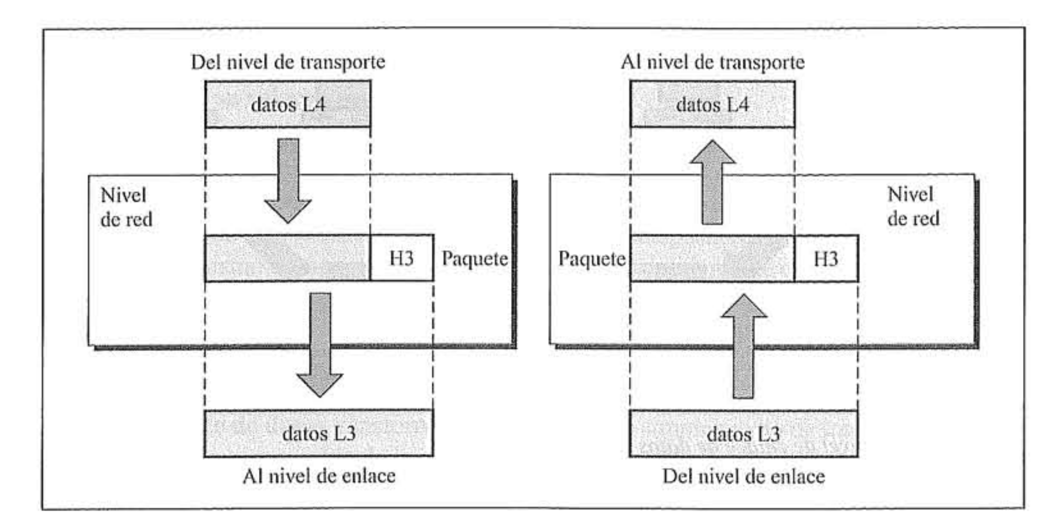


Figura 3.7. *Nivel de red.*

- **Encaminamiento.** Cuando un conjunto de redes o enlaces independientes se conectan juntas para crear una *red de redes* (una internet) o una red más grande, los dispositivos de conexión (denominados *encaminadores* o *pasarelas*) encaminan los paquetes hasta su destino final. Una de las funciones del nivel de red es proporcionar estos mecanismos.

Ejemplo 3.2

Imagine ahora que en la Figura 3.8 se quieren enviar datos de un nodo con dirección de red A y dirección física 10, localizado en una red de área local, a un nodo con dirección de red P y dirección física 95, localizado en otra red de área local. Debido a que ambos dispositivos están situados en redes distintas, no se pueden usar únicamente las direcciones físicas; porque las direcciones físicas solamente tienen jurisdicción local. Lo que hace falta son direcciones universales que puedan pasar a través de las fronteras de las redes de área local. Las direcciones de red (lógicas) tienen estas características. El paquete en el nivel de red contiene las direcciones lógicas, que siguen siendo las mismas desde el origen hasta el destino final (A y P, respectivamente, en la figura). Estas direcciones no cambiarán cuando se vaya de una red a otra. Sin embargo, las direcciones físicas cambiarán cada vez que el paquete se mueva de una red a otra. La caja con la R es un encaminador (dispositivo de interconexión), de los que se hablará en el Capítulo 21.

Nivel de transporte

El **nivel de transporte** es responsable de la entrega **origen a destino** (extremo a extremo) de todo el mensaje. Mientras que el nivel de red supervisa la entrega extremo a extremo de paquetes individuales, no reconoce ninguna relación entre estos paquetes. Trata a cada uno independientemente, como si cada pieza perteneciera a un mensaje separado, tanto si lo es como si no. Por otro lado, el nivel de transporte asegura que todo el mensaje llega intacto y en orden, supervisando tanto el control de errores como el control de flujo a nivel origen a destino. La Figura 3.9 muestra la relación del nivel de transporte con los niveles de red y de sesión.

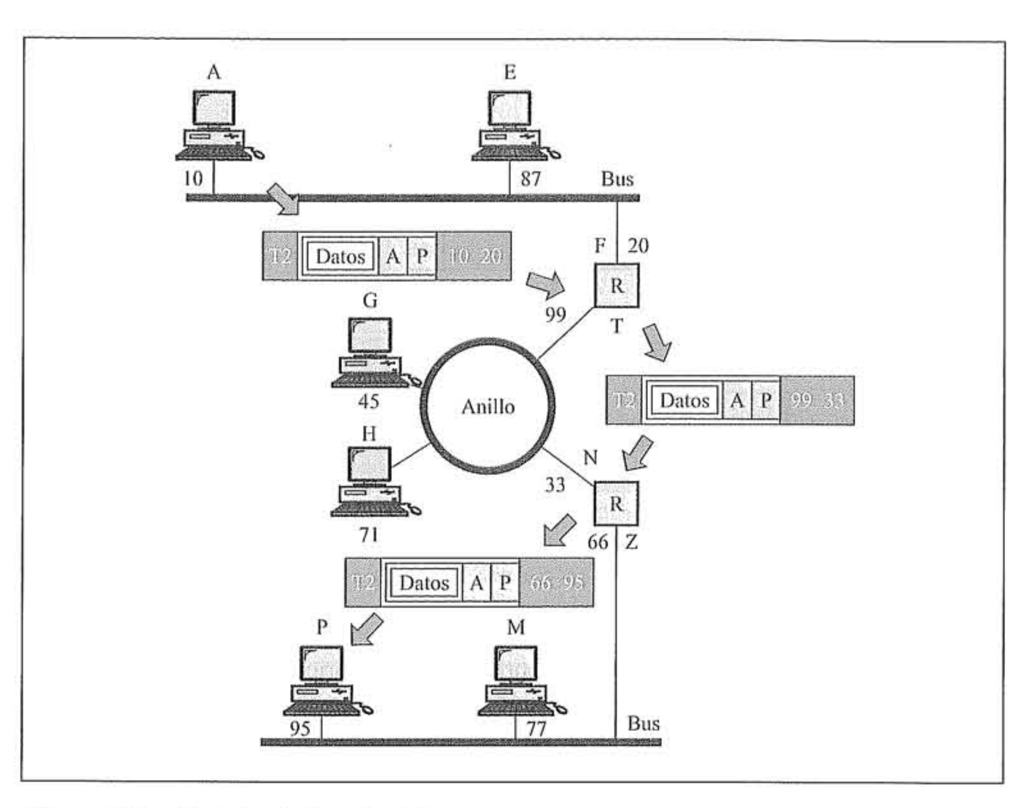


Figura 3.8. *Nivel de red (Ejemplo 3.2).*

Para mayor seguridad, el nivel de transporte puede crear una *conexión* entre dos puertos finales. Una conexión es un único camino lógico entre el origen y el destino asociado a todos los paquetes del mensaje. La creación de una conexión involucra tres pasos: establecimiento de la conexión, transferencia de datos y liberación de la conexión. Mediante el confinamiento de la transmisión de todos los paquetes a un único camino, el nivel de transporte tiene más control sobre la secuencia, flujo y detección y corrección de errores.

Algunas de las responsabilidades específicas del nivel de transporte son las que siguen a continuación:

- **Direccionamiento en punto de servicio.** Las computadoras suelen ejecutar a menudo varios programas al mismo tiempo. Por esta razón la entrega desde el origen al destino significa la entrega no sólo de una computadora a otra, sino también desde un proceso específico (programa en ejecución) en una computadora a un proceso específico (programa en ejecución) en el otro. La cabecera del nivel de transporte debe además incluir un tipo de dirección denominado dirección de *punto de servicio* (o **dirección de puerto**). El nivel de red envía cada paquete a la computadora adecuada; el nivel de transporte envía el mensaje entero al proceso adecuado dentro de esa computadora.
- **Segmentación y reensamblado.** Un mensaje se divide en segmentos transmisibles, cada uno de los cuales contiene un cierto número de secuencias. Estos números permiten al nivel de transporte reensamblar el mensaje correctamente a su llegada al destino e identificar y reemplazar paquetes que se han perdido en la transmisión.

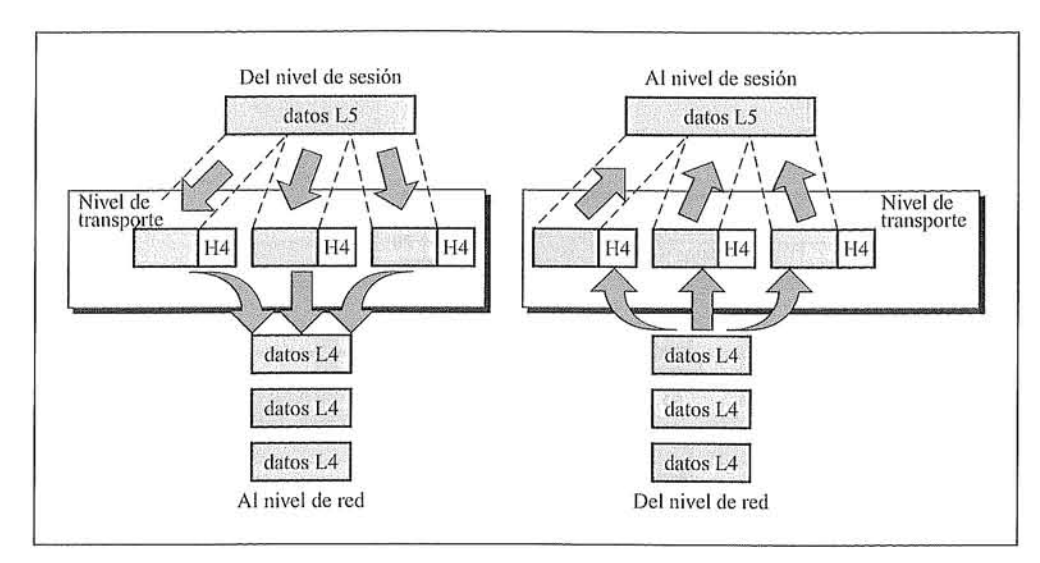


Figura 3.9. *Nivel de transporte.*

- **Control de conexión.** El nivel de transporte puede estar orientado a conexión o no. Un nivel de transporte no orientado a conexión trata cada segmento como un paquete independiente y lo pasa al nivel de transporte de la máquina destino. Un nivel de transporte orientado a conexión establece una conexión con el nivel de transporte del destino antes de enviar ningún paquete. La conexión se corta después de que se han transferido todos los paquetes de datos.
- **Control de flujo.** Al igual que el nivel de enlace de datos, el nivel de transporte es responsable del control de flujo. Sin embargo, el control de flujo de este nivel se lleva a cabo de extremo a extremo y no sólo en un único enlace.
- **Control de errores.** Al igual que el nivel de enlace de datos, el nivel de transporte es responsable de controlar los errores. Sin embargo, el control de errores en este nivel se lleva a cabo de extremo a extremo y no sólo en un único enlace. El nivel de transporte del emisor asegura que todo el mensaje llega al nivel de transporte del receptor sin **errores** (daños, pérdidas o duplicaciones). Habitualmente, los errores se corrigen mediante retransmisiones.

Ejemplo 3.3

La Figura 3.10 muestra un ejemplo de nivel de transporte. Los datos que llegan de los niveles superiores tienen direcciones de punto de servicio (puertos) *j* y *k* (j es la dirección de la aplicación emisora y k es la dirección de la aplicación receptora). Puesto que el paquete datos es mayor que lo que puede manejar el nivel de red, los datos se parten en dos paquetes, cada uno de los cuales sigue manteniendo las direcciones de punto de servicio (j y k). Posteriormente en el nivel de red, se añaden las direcciones de red (A y P) a cada paquete. Los paquetes pueden viajar a través de distintos caminos y llegar al destino en orden o fuera de orden. Los dos paquetes son enviados al nivel de red del destino, que es responsable de eliminar las cabeceras del nivel de red. Una vez realizado esto, ambos paquetes se pasan al nivel de transporte, donde son combinados para su entrega a los niveles superiores.

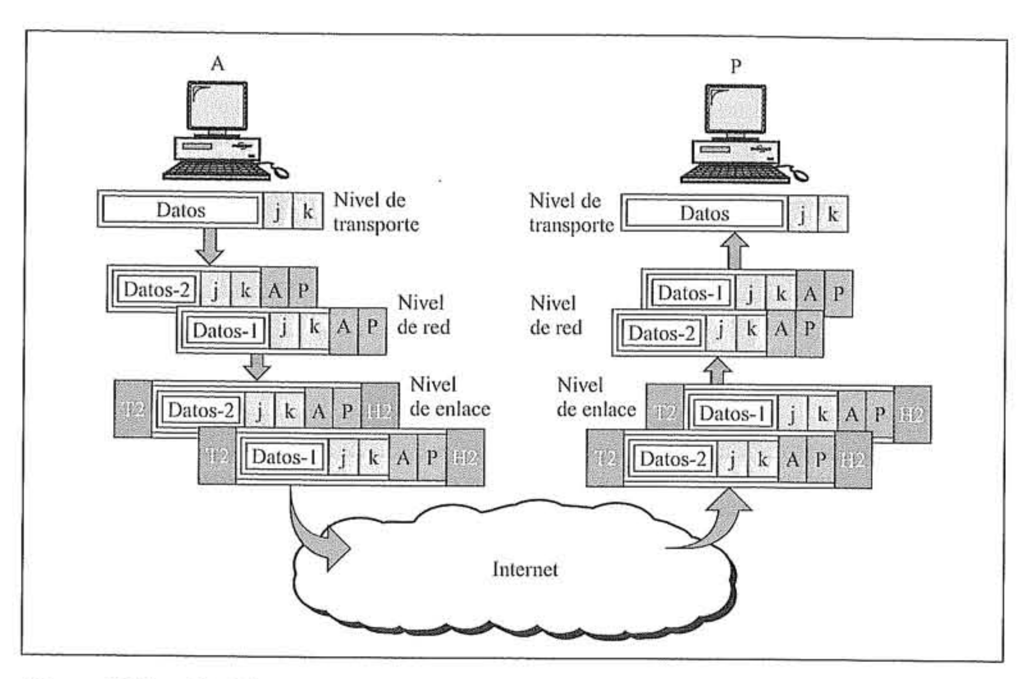


Figura 3.10. *Nivel de transporte (Ejemplo 3.3).*

Nivel de sesión

Los servicios provistos por los tres primeros niveles (físico, enlace de datos y redes) no son suficientes para algunos procesos. El **nivel de sesión** es el *controlador de diálogo* de la red. Establece, mantiene y sincroniza la interacción entre sistemas de comunicación.

Algunas responsabilidades específicas del nivel de sesión son las siguientes:

- **Control de diálogo.** El nivel de sesión permite que dos sistemas establezcan un diálogo. Permite que la comunicación entre dos procesos tenga lugar en modo semiduplex (un sentido cada vez) o full-dúplex (los dos sentidos al mismo tiempo). Por ejemplo, el diálogo entre un terminal conectado a una computadora puede ser semiduplex.
- **Sincronización.** El nivel de sesión permite que un proceso pueda añadir puntos de prueba (*checkpoints*) en un flujo de datos. Por ejemplo, si un sistema está enviando un archivo de 2000 páginas, es aconsejable insertar puntos de prueba cada 100 páginas para asegurar que cada unidad de 100 páginas se ha recibido y reconocido independientemente. En este caso, si hay un fallo durante la transmisión de la página 523, la retransmisión comienza en la página 501: las páginas 1 a 500 no deben ser retransmitidas. La Figura 3.11 ilustra la relación del nivel de sesión con los niveles de transporte y presentación.

Nivel de presentación

El **nivel de presentación** está relacionado con la sintaxis y la semántica de la información intercambiada entre dos sistemas. La Figura 3.12 muestra la relación entre el nivel de presentación y los niveles de aplicación y de sesión.

Las responsabilidades específicas del nivel de presentación incluyen:

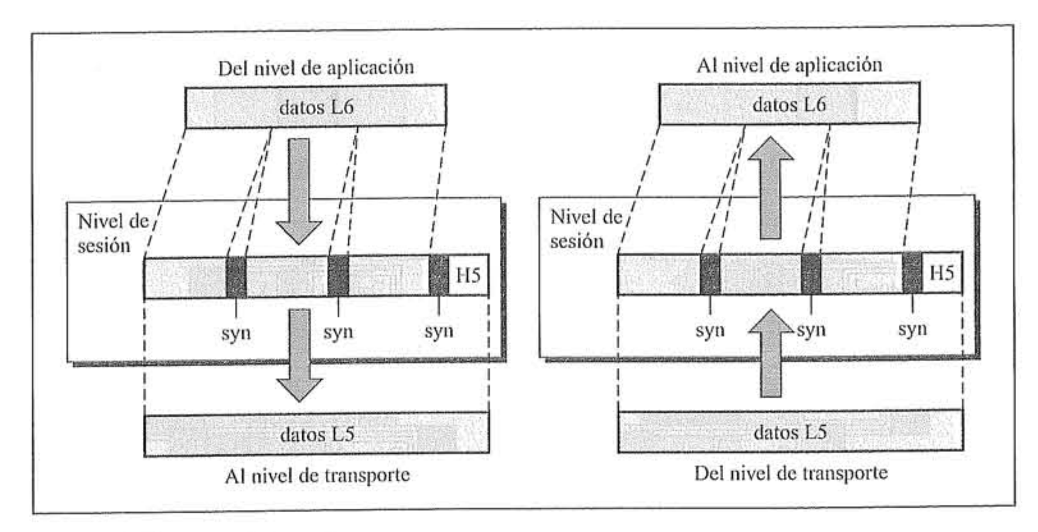


Figura 3.11. *Nivel de sesión.*

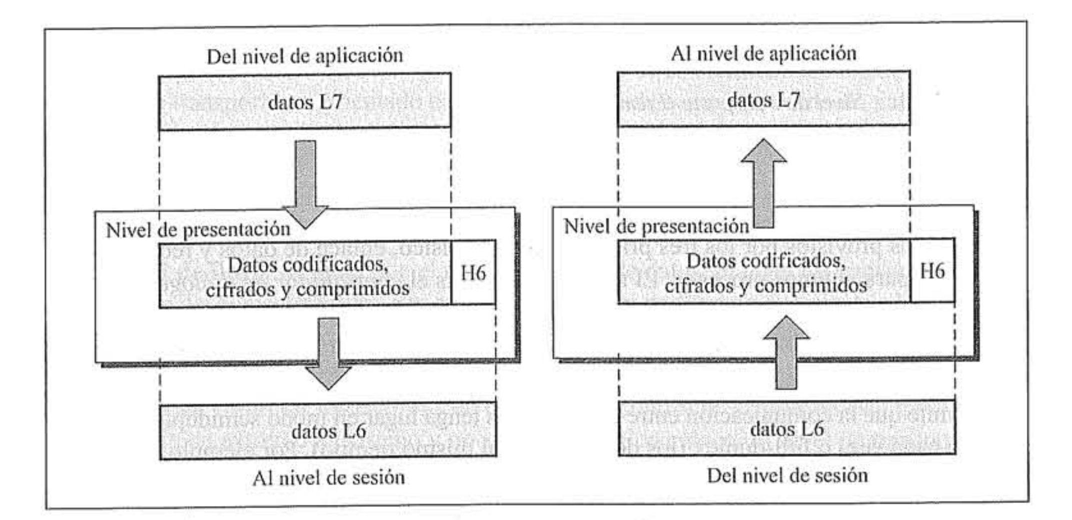


Figura 3.12. *Nivel de presentación.*

- **Traducción.** Los procesos (programas en ejecución) en los sistemas intercambian habitualmente la información en forma de tiras de caracteres, números, etc. Es necesario traducir la información a flujos de bits antes de transmitirla. Debido a que cada computadora usa un sistema de codificación distinto, el nivel de presentación es responsable de la interoperabilidad entre los distintos métodos de codificación. El nivel de presentación en el emisor cambia la información del formato dependiente del emisor a un formato común. El nivel de presentación en la máquina receptora cambia el formato común en el formato específico del receptor.
- **Cifrado.** Para transportar información sensible, un sistema debe ser capaz de asegurar la privacidad. El cifrado implica que el emisor transforma la información original a otro formato y envía el mensaje resultante por la red. El descifrado ejecuta el proceso inverso del proceso original para convertir el mensaje a su formato original.

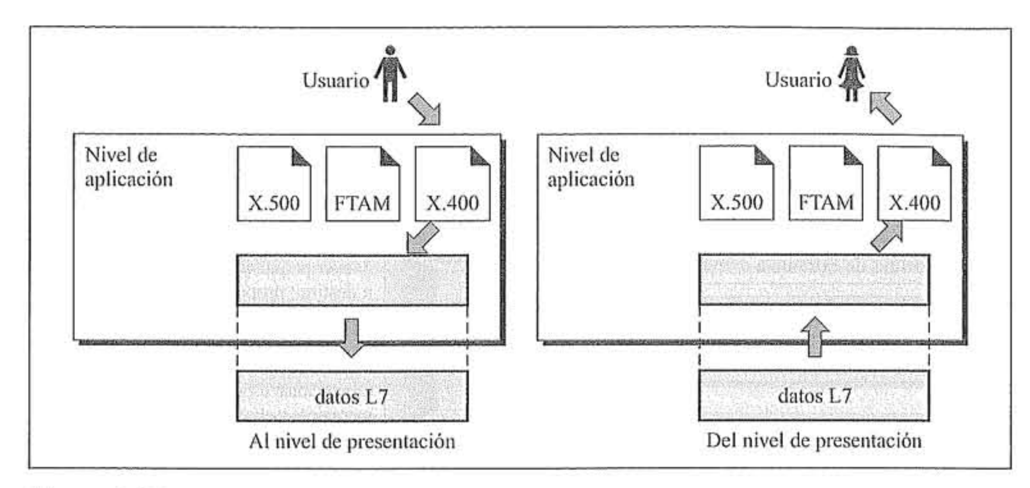


Figura 3.13. *Nivel de aplicación.*

- **Compresión.** La compresión de datos reduce el número de bits a transmitir. La compresión de datos es particularmente importante en la transmisión de datos multimedia tales como texto, audio y vídeo.

Nivel de aplicación

El **nivel de aplicación** permite al usuario, tanto humano como *software*, acceder a la red. Proporciona las interfaces de usuario y el soporte para servicios como el correo electrónico, el acceso y la transferencia de archivos remotos, la gestión de datos compartidos y otros tipos de servicios para información distribuida.

La Figura 3.13 muestra la relación entre el nivel de aplicación y el usuario y el nivel de presentación. De las muchas aplicaciones de servicios disponibles, la figura muestra solamente tres: X.400 (servicio de gestión de mensajes); X.500 (servicio de directorios); y transferencia acceso y gestión de archivos (FTAM). El usuario del ejemplo usa X.400 para enviar un correo electrónico. Observe que en este nivel no se añaden cabeceras ni colas.
Algunos de los servicios específicos provistos por el nivel de aplicación incluyen:

- **Terminal virtual de red.** Un terminal virtual de red es una versión de un terminal físico y permite al usuario acceder a una máquina remota. Para hacerlo, la aplicación crea una emulación *software* de un terminal en la máquina remota. La computadora del usuario habla al terminal *software*, que a su vez, habla al *host* y viceversa. La máquina remota cree que se está comunicando con uno de sus propios terminales y permite el acceso.
- **Transferencia, acceso y gestión de archivos (FTAM).** Esta aplicación permite al usuario acceder a archivos en una computadora remota (para cambiar datos o leer los datos), recuperar archivos de una computadora remota y gestionar o controlar los archivos en una computadora remota.
- **Servicios de correo.** Esta aplicación proporciona las bases para el envío y almacenamiento del correo electrónico.

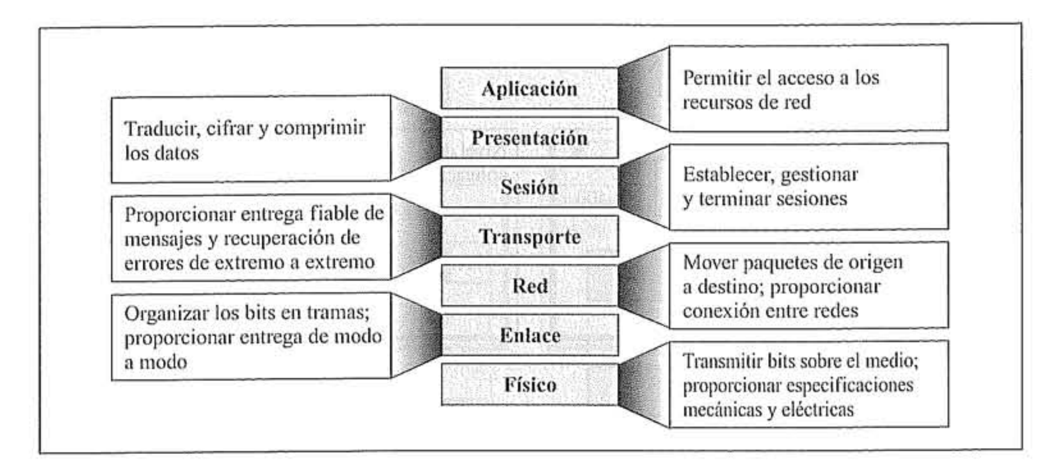


Figura 3.14. *Resumen de las funciones de los niveles.*

- **Servicios de directorios.** Esta aplicación proporciona acceso a bases de datos distribuidas que contienen información global sobre distintos objetos y servicios.

Resumen de las funciones de los niveles

Las funciones de los siete niveles se resumen en la Figura 3.14

3.3. FAMILIA DE PROTOCOLOS TCP/IP

La familia de protocolos TCP/IP, usada en Internet, se desarrolló antes que el modelo OSI. Por tanto, los niveles del **Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Red (TCP/IP)** no coinciden exactamente con los del modelo OSI. La familia de protocolos TCP/IP está compuesta por cinco niveles: físico, enlace de datos, red, transporte y aplicación. Los primeros cuatro niveles proporcionan estándares físicos, interfaces de red, conexión entre redes y funciones de transporte que se corresponden con los cuatro primeros niveles del modelo OSI. Sin embargo, los tres modelos superiores del modelo OSI están representados en TCP/IP mediante un único nivel denominado *nivel de aplicación* (véase la Figura 3.15).

TCP/IP es un protocolo jerárquico compuesto por módulos interactivos, cada uno de los cuáles proporciona una funcionalidad específica, pero que no son necesariamente interdependientes. Mientras el modelo OSI especifica qué funciones pertenecen a cada uno de sus niveles, los niveles de la familia de protocolos TCP/IP contienen protocolos relativamente independientes que se pueden mezclar y hacer coincidir dependiendo de las necesidades del sistema. El término *jerárquico* significa que cada protocolo de nivel superior está soportado por uno o más protocolos de nivel inferior.

TCP/IP define dos protocolos en el nivel de transporte: Protocolo de Control de Transmisión (TCP) y Protocolo de Datagramas de Usuario (UDP). En el nivel de red, el principal protocolo definido por TCP/IP es el Protocolo entre Redes (IP), aunque hay algunos otros protocolos que proporcionan movimiento de datos en este nivel. Vea los Capítulos 24 y 25 para una presentación más completa de los protocolos TCP/IP.

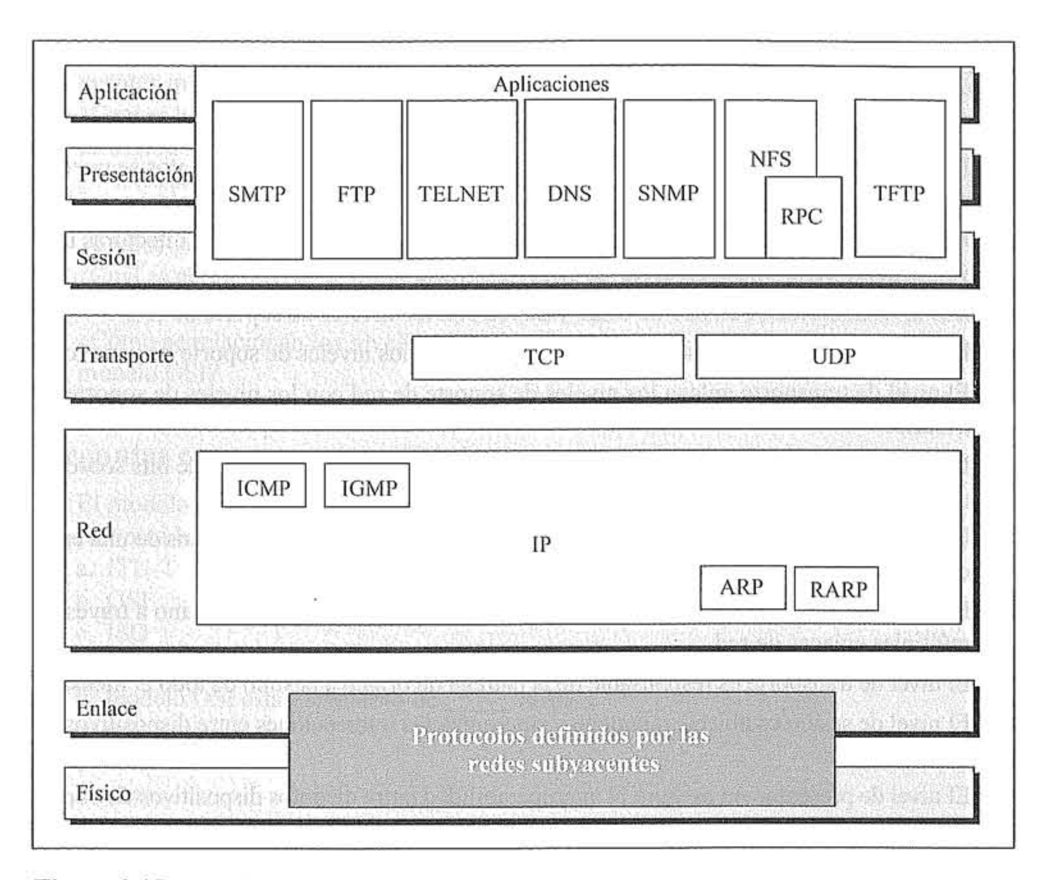


Figura 3.15. *TCP/IP y el modelo OSI.*

3.4. TÉRMINOS Y CONCEPTOS CLAVE

bit
cabecera
cola
dirección de puerto
dirección destino
dirección física
dirección lógica
dirección origen
entrega desde origen al destino
entrega nodo a nodo
error
Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI)
interfaz
nivel de aplicación
nivel de enlace de datos
nivel de presentación
nivel de red
nivel de sesión
nivel de transporte
nivel físico
proceso paritario o igual a igual
Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo entre Redes (TCP/IP)
sistema abierto
tasa de transmisión
trama

3.5. RESUMEN

- La Organización Internacional de Estandarización (ISO) creó un modelo denominado Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI), que permite que sistemas distintos se puedan comunicar.
- El modelo OSI de siete niveles proporciona guías para el desarrollo de arquitecturas universalmente compatibles, a nivel *hardware* y *software*.
- Los niveles físico, de enlace de datos y de red son los niveles de soporte de red.
- Los niveles de sesión, presentación y aplicación son los niveles de soporte de usuario.
- El nivel de transporte enlaza los niveles de soporte de red con los niveles de soporte de usuario.
- El nivel físico coordina las funciones necesarias para transmitir un flujo de bits sobre un medio físico.
- El nivel de enlace de datos es responsable de la entrega de unidades de datos de una estación a la siguiente sin errores.
- El nivel de red es responsable de la entrega de paquetes del origen al destino a través de múltiples enlaces de red.
- El nivel de transporte es responsable de la entrega de origen a destino de todo el mensaje.
- El nivel de sesión establece, mantiene y sincroniza las interacciones entre dispositivos de comunicación.
- El nivel de presentación asegura la interoperabilidad entre distintos dispositivos de comunicación mediante la transformación de datos a un formato común.
- El nivel de aplicación permite que los usuarios accedan a la red.
- TCP/IP, una familia de protocolos de cinco niveles desarrollado antes que el modelo OSI, es la familia de protocolos usada en Internet.

3.6. MATERIAL PRÁCTICO

Preguntas de revisión

1. ¿Qué niveles OSI son los niveles de soporte de red?
2. ¿Qué niveles OSI son los niveles de soporte de usuario?
3. ¿Cuál es la diferencia entre la entrega de nivel de red y la entrega de nivel de transporte?
4. ¿Cómo están OSI e ISO relacionadas entre sí?
5. Enumere los niveles del modelo OSI.
6. ¿Qué es un proceso punto a punto?
7. ¿Cómo pasa la información de un nivel OSI al siguiente?
8. ¿Qué son las cabeceras y cola y cómo se añaden y se quitan?
9. Agrupe los niveles OSI según su función.
10. ¿Cuáles son las responsabilidades del nivel físico?
11. ¿Cuáles son las responsabilidades del nivel de enlace?
12. ¿Cuáles son las responsabilidades del nivel de red?
13. ¿Cuáles son las responsabilidades del nivel de transporte?

14. El nivel de transporte crea una conexión entre el origen y el destino. ¿Cuáles son los tres eventos involucrados en la conexión?
15. ¿Cuál es la diferencia entre una dirección de punto en servicio, una dirección lógica y una dirección física?
16. ¿Cuáles son las responsabilidades del nivel de sesión?
17. ¿Cuál es el objetivo del controlador del diálogo?
18. ¿Cuáles son las responsabilidades del nivel de presentación?
19. ¿Cuál es el objetivo de la traducción en el nivel de presentación?
20. Indique alguno de los servicios proporcionados por el nivel de aplicación.
21. ¿Cómo se relacionan los niveles de la familia del protocolo TCP/IP con los niveles del modelo OSI?

Preguntas con respuesta múltiple

22. El modelo ____ muestra cómo deberían estar organizadas las funciones de red de una computadora.
    a. ITU-T
    b. OSI
    c. ISO
    d. ANSI
23. El modelo OSI está compuesto de _____ niveles.
    a. tres
    b. cinco
    c. siete
    d. ocho
24. El nivel _____ decide la localización de los puntos de sincronización.
    a. transporte
    b. sesión
    c. presentación
    d. aplicación
25. La entrega extremo a extremo de todo el mensaje es responsabilidad del nivel de __.
    a. red
    b. transporte
    c. sesión
    d. presentación
26. El nivel _____ es el nivel más cercano al medio de transmisión.
    a. físico
    b. enlace de datos
    c. de red
    d. transporte
27. En el nivel _____, la unidad de datos se denomina trama.
    a. físico
    b. enlace de datos
    c. red
    d. transporte
28. El descifrado y el cifrado de los datos son responsabilidad del nivel _____.
    a. físico

b. enlace de datos
c. presentación
d. sesión

29. El control del diálogo es una función del nivel _____.
a. transporte
b. sesión
c. presentación
d. aplicación

30. Los servicios de correo y de directorio están disponibles a los usuarios de la red a través del nivel _____.
a. enlace de datos
b. sesión
c. transporte
d. aplicación

31. La entrega nodo a nodo de las unidades de datos es responsabilidad del nivel ___
a. físico
b. enlace de datos
c. transporte
d. red

32. A medida que los paquetes de datos se mueven de los niveles inferiores a los superiores, las cabeceras son _____.
a. añadidas
b. eliminadas
c. recolocadas
d. modificadas

33. A medida que los paquetes de datos se mueven de los niveles superiores a los inferiores, las cabeceras son _____.
a. añadidas
b. eliminadas
c. recolocadas
d. modificadas

34. El nivel _____ está entre el nivel de red y el nivel de sesión.
a. físico
b. enlace de datos
c. transporte
d. presentación

35. El nivel 2 está entre el nivel físico y el nivel ____.
a. red
b. enlace de datos
c. transporte
d. presentación

36. Cuando se transmiten los datos del dispositivo A al dispositivo B, la cabecera del nivel 5 de A es leída por la cabecera del nivel ____ de B.
a. físico
b. transporte
c. sesión
d. presentación

37. En el nivel ____, ocurren las traducciones de un código de caracteres a otro.
a. transporte
b. sesión
c. presentación
d. aplicación

38. El nivel _____ cambia los bits en señales electromagnéticas.
a. físico
b. enlace de datos
c. transporte
d. presentación

39. El nivel _____ puede usar la cabecera de la trama para detección de errores.
a. físico
b. enlace de datos
c. transporte
d. presentación

40. ¿Por qué se desarrolló el modelo OSI?
a. A los fabricantes no les gustaba la familia de protocolos TCP/IP
b. La tasa de transferencia de datos se incrementó exponencialmente
c. Los estándares eran necesarios para permitir que cualquier sistema se pudiera comunicar entre sí
d. Ninguno de los anteriores

41. El nivel físico está relacionado con la transmisión de ____ sobre el medio físico.
a. programas
b. diálogos
c. protocolos
d. bits

42. ¿Qué funciones de nivel constituyen un enlace entre los niveles de soporte de usuario y los niveles de soporte de red?
a. nivel de red
b. nivel físico
c. nivel de transporte
d. nivel de sesión

43. ¿Cuál es la principal función del nivel de transporte?
a. entrega nodo a nodo
b. entrega de mensaje extremo a extremo
c. sincronización
d. actualización y mantenimiento de tablas de encaminamiento

44. Los *checkpoints* de nivel de sesión _____.
a. permiten que una porción de un archivo se pueda reenviar
b. detectan y recuperan errores
c. controlan la edición de cabeceras
d. están relacionadas con el control de diálogo

45. ¿Cuál de los siguientes es un servicio del nivel de aplicación?
a. terminal virtual de red
b. transferencia, acceso y gestión de archivos
c. servicio de correo
d. todos los anteriores

Ejercicios

46. Identifique las siguientes opciones con uno de los siete niveles OSI:
    a. Determinación de ruta.
    b. Control de flujo.
    c. Interfaz con el mundo exterior.
    d. Proveer acceso a la red para el usuario final.
    e. ASCII traducido a EBCDIC.
    f. Conmutación de paquetes.
47. Relacione cada uno de los siguientes con uno de los siete niveles OSI:
    a. Transmisión de datos fiable extremo a extremo.
    b. Selección de red.
    c. Definición de tramas.
    d. Servicios de usuario tales como correo electrónico y transferencia de archivos.
    e. Transmisión de un flujo de bits a través de un medio físico.
48. Identifique una de las siguientes opciones con uno de los siete niveles OSI:
    a. Comunicación directa con los programas de aplicación del usuario.
    b. Corrección de errores y retransmisión.
    c. Interfaz mecánica, eléctrica y funcional.
    d. Responsabilidad de la información entre nodos adyacentes.
    e. Reemsamblaje de paquetes de datos.
49. Relacione las siguientes opciones con uno de los siguientes niveles OSI:
    a. Proporciona servicio de conversión de formato y código.
    b. Establece, gestiona y termina sesiones.
    c. Asegura la transmisión fiable de datos.
    d. Proporciona procedimientos de entrada y salida.
    e. Proporciona independencia de las distintas representaciones de datos.
    f. Sincroniza a los usuarios.

CAPÍTULO 4
Señales

Uno de los aspectos fundamentales del nivel físico es transmitir información en forma de señales electromagnéticas a través de un medio de transmisión. Tanto si se están recolectando estadísticas numéricas de otra computadora, como si se están enviando gráficos animados desde una estación de diseño o haciendo sonar un timbre en un centro de control distante, se está realizando transmisión de *información* a través de conexiones de red. La información puede ser voz, imagen, datos numéricos, caracteres o **código,** cualquier mensaje que sea legible y tenga significado para el usuario destino, tanto si es humano como si es una máquina.

> La información puede estar en forma de datos, voz, pintura, etc.

Generalmente, la información que utiliza una persona o una aplicación no está en un formato que se pueda transmitir por la red. Por ejemplo, no se puede enrollar una fotografía, insertarla en un cable y transmitirla a través de la ciudad. Sin embargo, se puede transmitir una descripción codificada de la fotografía. En lugar de enviar la fotografía real, se puede utilizar un codificador para crear un flujo de unos y ceros que le indique al dispositivo receptor cómo reconstruir la imagen de la fotografía. (La codificación es el tema del Capítulo 5.)

Pero incluso los unos y los ceros no pueden ser enviados a través de los enlaces de una red. Deben ser convertidos posteriormente a un formato aceptable para el medio de transmisión. El medio de transmisión funciona conduciendo energía a través de un camino físico. Por tanto, el flujo de datos de unos y ceros debe ser convertido a energía en forma de señales electromagnéticas.

> La información debe ser transformada en señales electromagnéticas para poder ser transmitida.

4.1. ANALÓGICO Y DIGITAL

Tanto los datos como las señales que los representan pueden estar en forma *analógica o digital.* **Analógico** indica algo que es continuo, un conjunto de puntos específicos de datos y todos los puntos posibles entre ellos. **Digital** indica algo que es discreto, un conjunto de puntos específicos de datos sin los puntos intermedios.

Datos analógicos y digitales

Los datos pueden ser analógicos o digitales. Un ejemplo de **dato analógico** es la voz humana. Cuando alguien habla, se crea una onda continua en el aire. Esta onda puede ser capturada por un micrófono y convertida en una señal analógica.

Un ejemplo de **dato digital** son los datos almacenados en la memoria de una computadora en forma de ceros y unos. Se suelen convertir a señales digitales cuando se transfieren de una posición a otra dentro o fuera de la computadora.

Señales analógicas y digitales

Al igual que la información que representan, las **señales** pueden ser también analógicas o digitales. Una **señal analógica** es una forma de onda continua que cambia suavemente en el tiempo. A medida que la onda se mueve de a A a B, pasa a través de, e incluye un número infinito de valores en, su camino. Por el contrario, una **señal digital** es discreta. Solamente puede tener un número de valores definidos, a menudo tan simples como ceros y unos. La transición entre los valores de una señal digital es instantánea, como una luz que se enciende y se apaga.

Habitualmente las señales se ilustran imprimiéndolas sobre un par de ejes perpendiculares. El eje vertical representa el valor o la potencia de la señal. El eje horizontal representa el paso del tiempo. La Figura 4.1 ilustra una señal analógica y una señal digital. La curva que representa la señal analógica es suave y continua, pasando a través de un número infinito de puntos. Sin embargo, las líneas verticales de la señal digital demuestran que hay un salto repentino entre un valor y otro de la señal; las regiones planas altas y bajas indican que estos valores son fijos. Otra forma de expresar la diferencia es que la señal analógica cambia continuamente con respecto al tiempo, mientras que la señal digital cambia instantáneamente.

> Las señales pueden ser analógicas o digitales. Las señales analógicas pueden tener cualquier valor dentro de un rango; las señales digitales solamente pueden tener un número limitado de valores.

4.2. SEÑALES PERIÓDICAS Y APERIÓDICAS

Tanto las señales analógicas como las digitales pueden ser de dos formas: *periódicas* y *aperiódicas* (no periódicas).

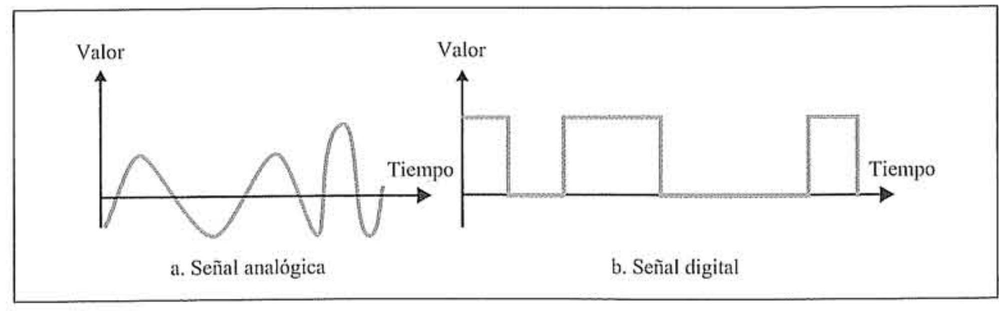


Figura 4.1. *Comparación entre señales analógicas y digitales.*

Señales periódicas

Una señal es **periódica** si completa un patrón dentro de un marco de tiempo medible, denominado un **periodo**, y repite ese patrón en periodos idénticos subsecuentes. Cuando se completa un patrón completo, se dice que se ha completado un **ciclo**. El periodo se define como la cantidad de tiempo (expresado en segundos) necesarios para completar un ciclo completo. La duración de un periodo, representado por T, puede ser diferente para cada señal, pero es constante para una determinada señal periódica. La Figura 4.2 muestra señales periódicas hipotéticas.

> Una señal periódica está formada por un patrón que se repite continuamente. El periodo de una señal (T) se expresa en segundos.

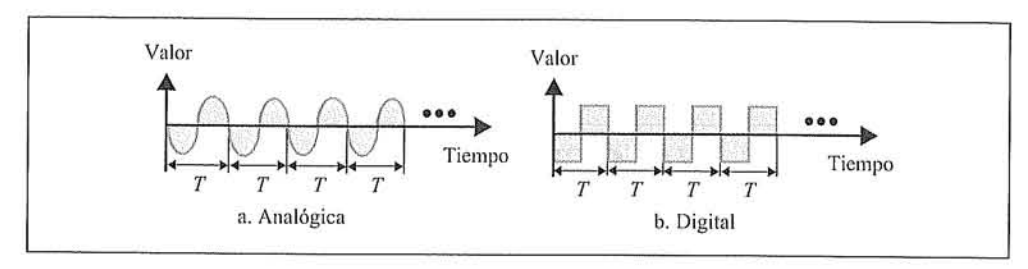


Figura 4.2. *Ejemplos de señales periódicas.*

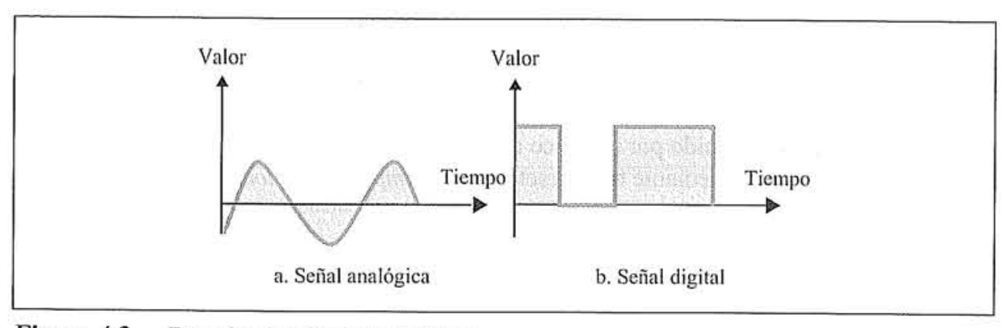


Figura 4.3. *Ejemplos de señales aperiódicas*

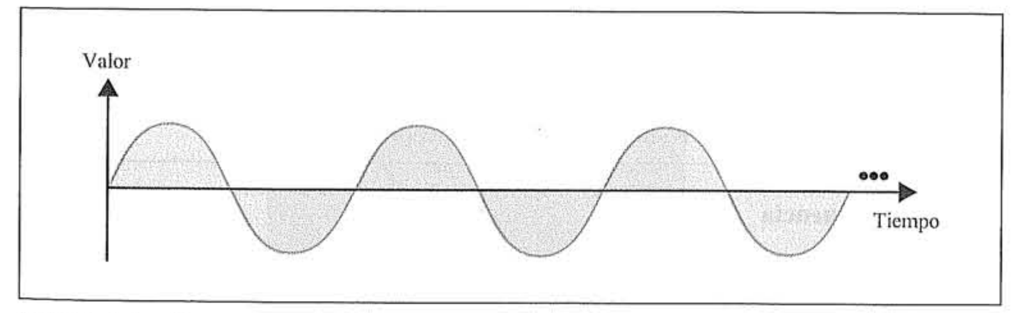


Figura 4.4. *Una onda seno.*

Señales aperiódicas

Una señal **aperiódica,** o no periódica, cambia constantemente sin exhibir ningún patrón o ciclo que se repita en el tiempo. La Figura 4.3 muestra ejemplos de señales aperiódicas.

> Una señal aperiódica, o no periódica, no tiene un patrón repetitivo.

Sin embargo, se ha demostrado mediante una técnica denominada **transformada de Fourier** (véase el **Apéndice D**), que cualquier señal aperiódica puede ser descompuesta en un número infinito de señales periódicas. Comprender las características de una señal periódica proporciona, además, conocimientos sobre las señales aperiódicas.

> Una señal aperiódica puede ser descompuesta en un número infinito de señales periódicas. Una onda seno es la señal periódica más sencilla.

4.3. SEÑALES ANALÓGICAS

Las señales analógicas se pueden clasificar en simples o compuestas. Una señal analógica simple, o una **onda seno,** no puede ser descompuesta en señales más simples. Una señal analógica compuesta está formada por múltiples ondas seno.

Señales analógicas simples

La onda seno es la forma más fundamental de una señal analógica periódica. Visualizada como una única curva oscilante, su cambio a lo largo del curso de un ciclo es suave y consistente, un flujo continuo. La Figura 4.4 muestra una onda seno. Cada ciclo está formado por un único arco sobre el eje del tiempo seguido por un único arco por debajo de él. Las ondas seno se pueden describir completamente mediante tres características: *amplitud, periodo* o *frecuencia* y *fase.*

Amplitud

La **amplitud** de una señal en un gráfico es el valor de la señal en cualquier punto de la onda. Es igual a la distancia vertical desde cualquier punto de la onda hasta el eje horizontal. La máxima amplitud de una onda seno es igual al valor más alto que puede alcanzar sobre el eje vertical (véase la Figura 4.5).

La amplitud se mide en *voltios, amperios* o *watios,* dependiendo del tipo de señal. Los voltios indican el voltaje, los amperios indican la corriente eléctrica y los watios indican la potencia.

> La amplitud indica la altura de la señal. La unidad de la amplitud depende del tipo de señal. Para señales eléctricas, la unidad es normalmente voltios, amperios o watios.

Periodo y frecuencia

El *periodo* se refiere a la cantidad de tiempo, en segundos, que necesita una señal para completar un ciclo. La **frecuencia** indica el número de periodos en un segundo. La frecuencia de una señal es su número de ciclos por segundo. La Figura 4.6 muestra los conceptos de periodo y frecuencia.

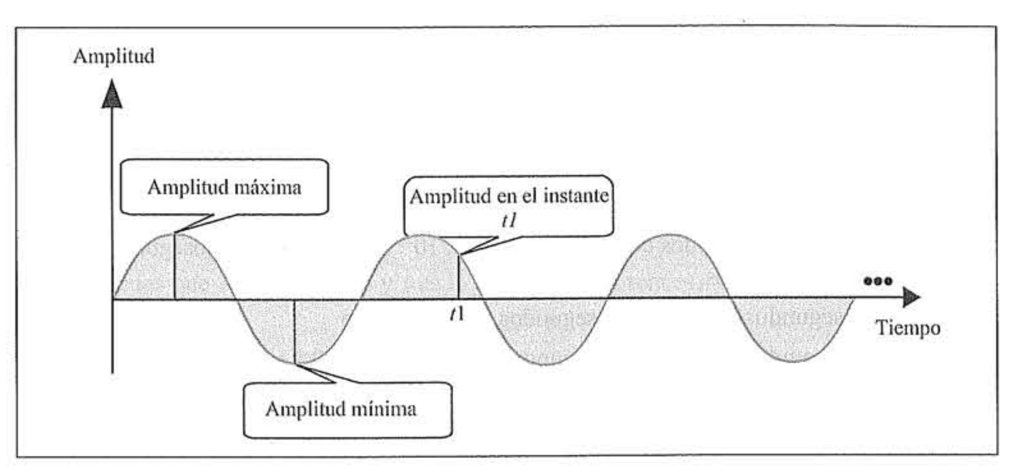


Figura 4.5. *Amplitud.*

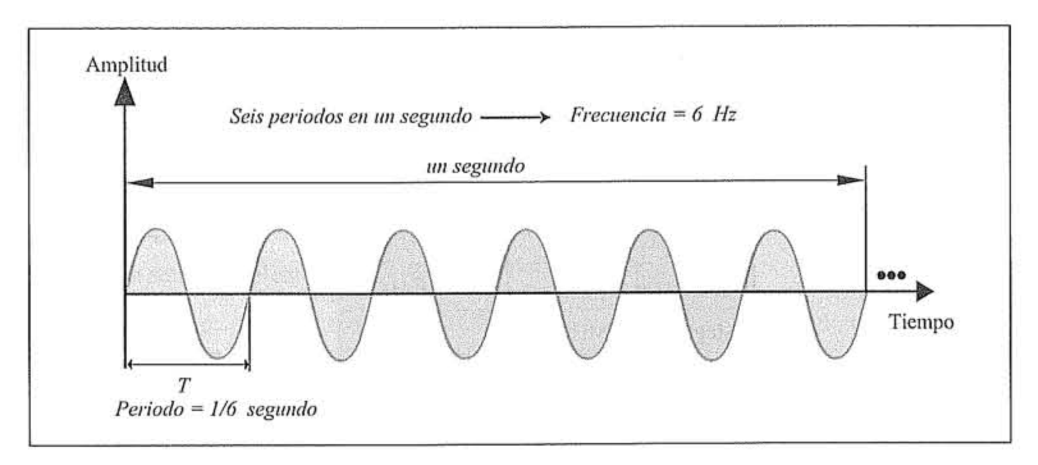


Figura 4.6. *Periodo y frecuencia.*

Unidad de periodo. El periodo se expresa en segundos. La industria de la comunicación usa cinco unidades para medir el periodo: **segundo** (s), **milisegundo** (ms = 10^{-3} s), **microsegundo** (μs = 10^{-6} s), **nanosegundo** (ns = 10^{-9} s) y **picosegundo** (ps = 10^{-12} s). Véase la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. *Unidades de periodo*

Unidad	*Equivalente*
Segundos	1 s
Milisegundos (ms)	10^{-3} s
Microsegundos (μs)	10^{-6} s
Nanosegundos (ns)	10^{-9} s
Picosegundos (ps)	10^{-12} s

Ejemplo 4.1

Muestre el valor de 100 milisegundos en segundos, microsegundos, nanosegundos y picosegundos.

Solución

Se usan las potencias de 10 para encontrar la unidad apropiada. Se sustituyen 10^{-3} segundos con milisegundos, 10^{-6} segundos con microsegundos, 10^{-9} segundos con nanosegundos y 10^{-12} segundos con picosegundos.

100 milisegundos = 100×10^{-3} segundos = 0,1 segundo

100 milisegundos = 100×10^{-3} segundos = $100 \times 10^{3} \times 10^{-6}$ segundos = 10^{5} μs

100 milisegundos = 100×10^{-3} segundos = $100 \times 10^{6} \times 10^{-9}$ segundos = 10^{8} ns

100 milisegundos = 100×10^{-3} segundos = $100 \times 10^{9} \times 10^{-12}$ segundos = 10^{11} ps

Unidades de frecuencia. La frecuencia se expresa en **herzios (Hz)**, en honor al físico alemán Heinrich Rudolf Hertz. La industria de la comunicación usa cinco unidades para medir la frecuencia: **herzio** (Hz), **kiloherzio** (KHz = 10^3 Hz), **megaherzio** (MHz = 10^6 Hz), **gigaherzio** (GHz = 10^9 Hz) y **teraherzio** (THz = 10^{12} Hz). Véase la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. *Unidades de frecuencia*

Unidad	*Equivalente*
Herzio (Hz)	1 Hz
Kiloherzio (KHz)	10^3 Hz
Megaherzio (MHz)	10^6 Hz
Gigaherzio (GHz)	10^9 Hz
Teraherzio (THz)	10^{12} Hz

Ejemplo 4.2

Convertir 14 MHz a Hz, KHz, GHz y THz.

Solución

Se usan las potencias de 10 para encontrar la unidad apropiada. Se reemplazan 10^3 Hz con KHz, 10^6 Hz con MHz, 10^9 Hz con GHz y 10^{12} Hz con THz.

14 MHz = 14×10^6 Hz

14 MHz = 14×10^6 Hz = $14 \times 10^3 \times 10^3$ Hz = 14×10^3 KHz

14 MHz = 14×10^6 Hz = $14 \times 10^{-3} \times 10^9$ Hz = 14×10^{-3} GHz

14 MHz = 14×10^6 Hz = $14 \times 10^{-6} \times 10^{12}$ Hz = 14×10^{-6} THz

Conversión de frecuencia a periodo y viceversa. Matemáticamente, la relación entre frecuencia y periodo es que cada una de ellas es la inversa multiplicativa de la otra. Si se da una, se puede derivar inmediatamente la otra.

Frecuencia = 1 / Periodo   Periodo = 1 / Frecuencia

> El periodo es la cantidad de tiempo que tarda una señal en completar un ciclo; la frecuencia es el número de ciclos por segundo. La frecuencia y el periodo son inversos entre sí: $f = 1/T$ y $T = 1/f$.

Ejemplo 4.3

Una onda seno tiene una frecuencia de 6 Hz. ¿Cuál es su periodo?

Solución

Supongamos que T es el periodo y f es la frecuencia. Entonces,

$$T = 1/f = 1/6 = 0{,}17 \text{ segundos}$$

Ejemplo 4.4

Una onda seno tiene una frecuencia de 8 KHz. ¿Cuál es su periodo?

Solución

Supongamos que T es el periodo y f es la frecuencia. Entonces,

$$T = 1/f = 1/8.000 = 0{,}000125 \text{ segundos} = 125 \times 10^{-6} \text{ segundos} = 125 \text{ μs}$$

Ejemplo 4.5

Una onda seno completa un ciclo en 4 segundos. ¿Cuál es su frecuencia?

Solución

Supongamos que T es el periodo y f la frecuencia. Entonces,

$$f = 1/T = 1/4 = 0{,}25 \text{ Hz}$$

Ejemplo 4.6

Una onda seno completa un ciclo en 25 μs. ¿Cuál es su frecuencia?

Solución

Supongamos que T es el periodo y f es la frecuencia. Entonces,

$$f = 1/T = 1/(25 \times 10^{-6}) = 40.000 \text{ Hz} = 40 \times 10^3 \text{ Hz} = 40 \text{ KHz}$$

Más sobre la frecuencia

Ya se sabe que la frecuencia es la relación de una señal con el tiempo y que la frecuencia de una onda es el número de ciclos que completa por segundo. Pero otra forma de mirar la frecuencia es usarla como una medida de la velocidad de cambio. Las señales electromagnéticas son formas de onda oscilatoria; es decir, señales que fluctúan de forma continua y predecible por encima y por debajo de un nivel de energía medio. La velocidad a la que se mueve una onda seno desde su nivel más bajo a su nivel más alto es su frecuencia. Una señal de 40 Hz tiene la mitad de frecuencia que una señal de 80 Hz; es decir, completa un ciclo en el doble de tiempo que la señal de 80 Hz, por lo que cada ciclo tarda el doble de tiempo para ir de su nivel de voltaje mínimo al máximo. Por tanto, la frecuencia, aunque descrita en ciclos por segundo (Hz), es una medida general de la velocidad de cambio de una señal con respecto al tiempo.

> La frecuencia es la velocidad de cambio respecto al tiempo. Los cambios en un espacio de tiempo corto indican frecuencia alta. Los cambios en un gran espacio de tiempo indican frecuencia baja.

Si el valor de una señal cambia en un espacio muy corto de tiempo, su frecuencia es alta. Si cambia en un espacio de tiempo largo, su frecuencia es baja.

Dos extremos. ¿Qué ocurre si una señal no cambia en absoluto? ¿Qué pasa si mantiene un nivel de voltaje constante durante todo su tiempo de actividad? En ese caso, su frecuencia es 0. Conceptualmente, esta idea es sencilla. Si una señal no cambia en absoluto, nunca completa un ciclo, por tanto su frecuencia es 0 Hz.

Pero ¿qué pasa si una señal cambia instantáneamente? ¿Qué pasa si salta de un nivel a otro instantáneamente? En ese caso, su frecuencia es infinita. En otras palabras, cuando una señal cambia instantáneamente, su periodo es 0; puesto que la frecuencia es el inverso del periodo, entonces, en este caso, la frecuencia es 1/0, o infinito.

> Si una señal no cambia en absoluto, su frecuencia es 0. Si una señal cambia instantáneamente, su frecuencia es infinita.

Fase

El término **fase** describe la posición de la onda relativa al instante de tiempo 0. Si se piensa en la onda como algo que se puede desplazar hacia delante o hacia atrás a lo largo del eje del tiempo, la fase describe la magnitud de ese desplazamiento. Indica el estado del primer ciclo.

> La fase describe la posición de la forma de onda relativa al instante de tiempo 0.

La fase se mide en grados o radianes (360 grados son 2π radianes). Un desplazamiento de fase de 360 grados corresponde a un desplazamiento de un periodo completo; un desplazamiento de fase de 180 grados corresponde a un desplazamiento de la mitad del periodo; un desplazamiento de fase de 90 grados corresponde a un desplazamiento de un cuarto de periodo (véase la Figura 4.7).

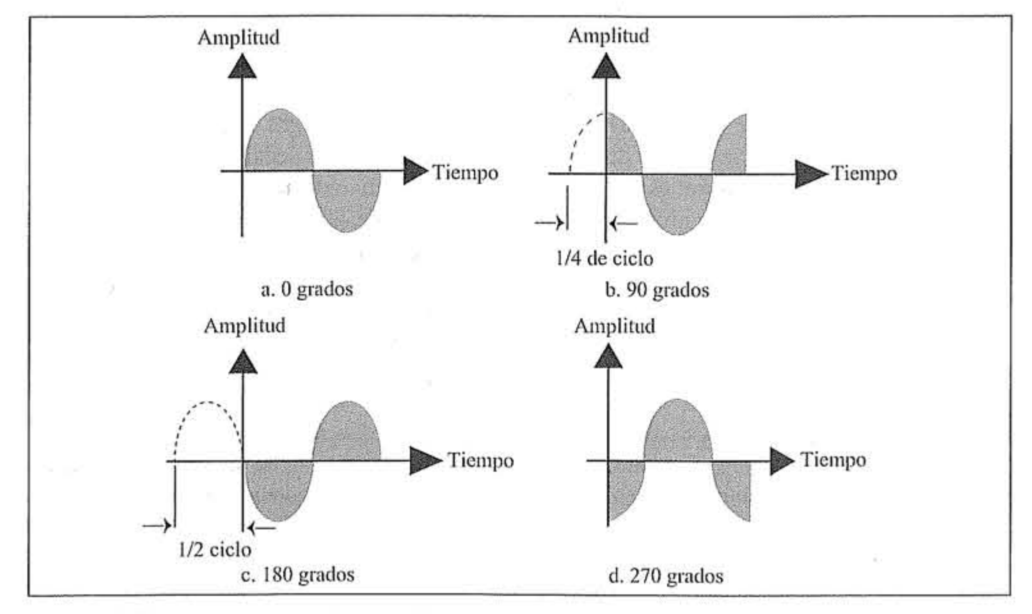


Figura 4.7. *Relación entre distintas fases.*

Ejemplo 4.7

Una onda seno está desplazada 1/6 de ciclo respecto al tiempo 0. ¿Cuál es su fase?

Solución

Sabemos que un ciclo completo son 360 grados. Por tanto, 1/6 de ciclo es

$$1/6 \times 360 = 60 \text{ grados}$$

Una comparación visual de la amplitud, frecuencia y fase proporciona una referencia útil para comprender sus funciones. Se pueden introducir cambios en los tres atributos de la señal y controlarlos electrónicamente. Este control proporciona la base para todas las telecomunicaciones y se trata en el Capítulo 5 (véanse las Figuras 4.8, 4.9 y 4.10).

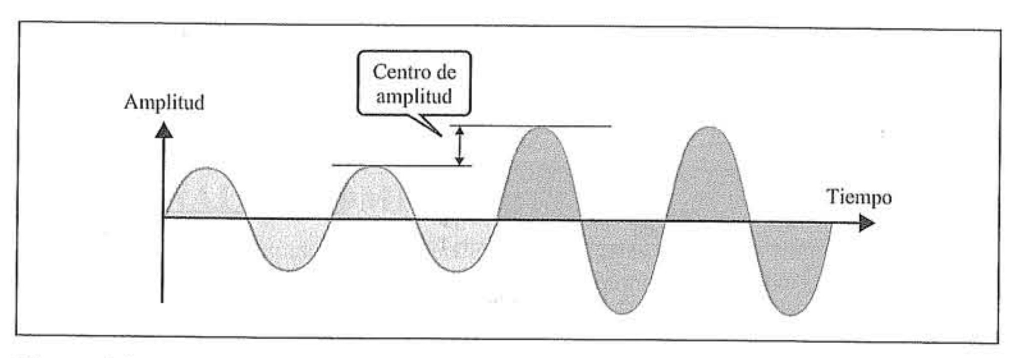


Figura 4.8. *Cambio de amplitud.*

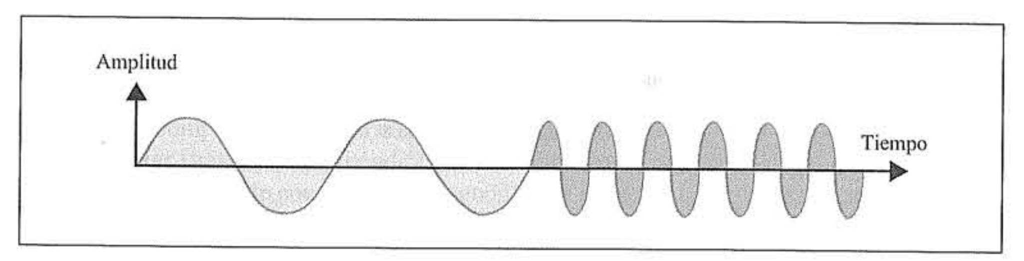


Figura 4.9. *Cambio de frecuencia.*

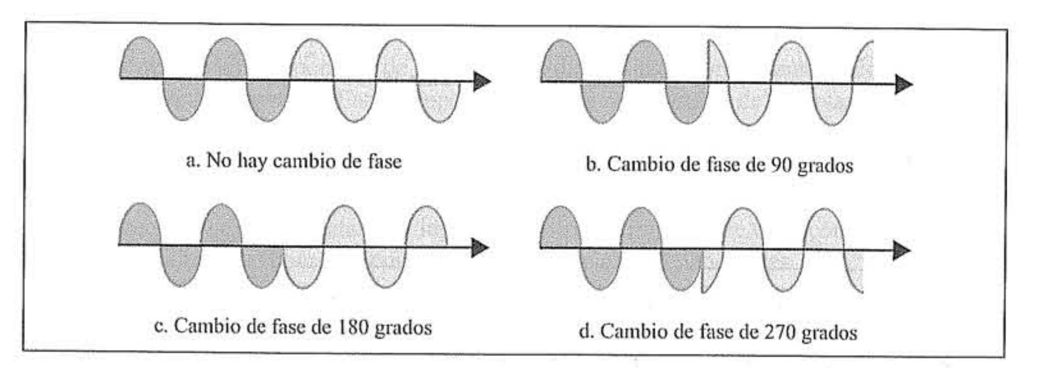


Figura 4.10. *Cambio de fase.*

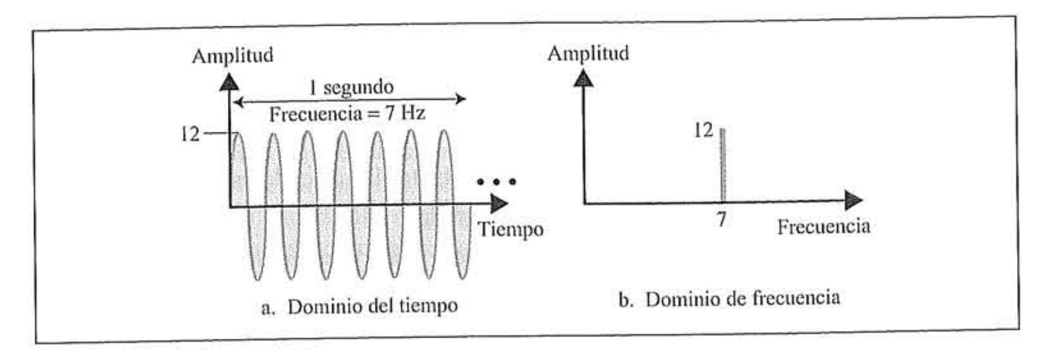


Figura 4.11. *Dominios del tiempo y la frecuencia.*

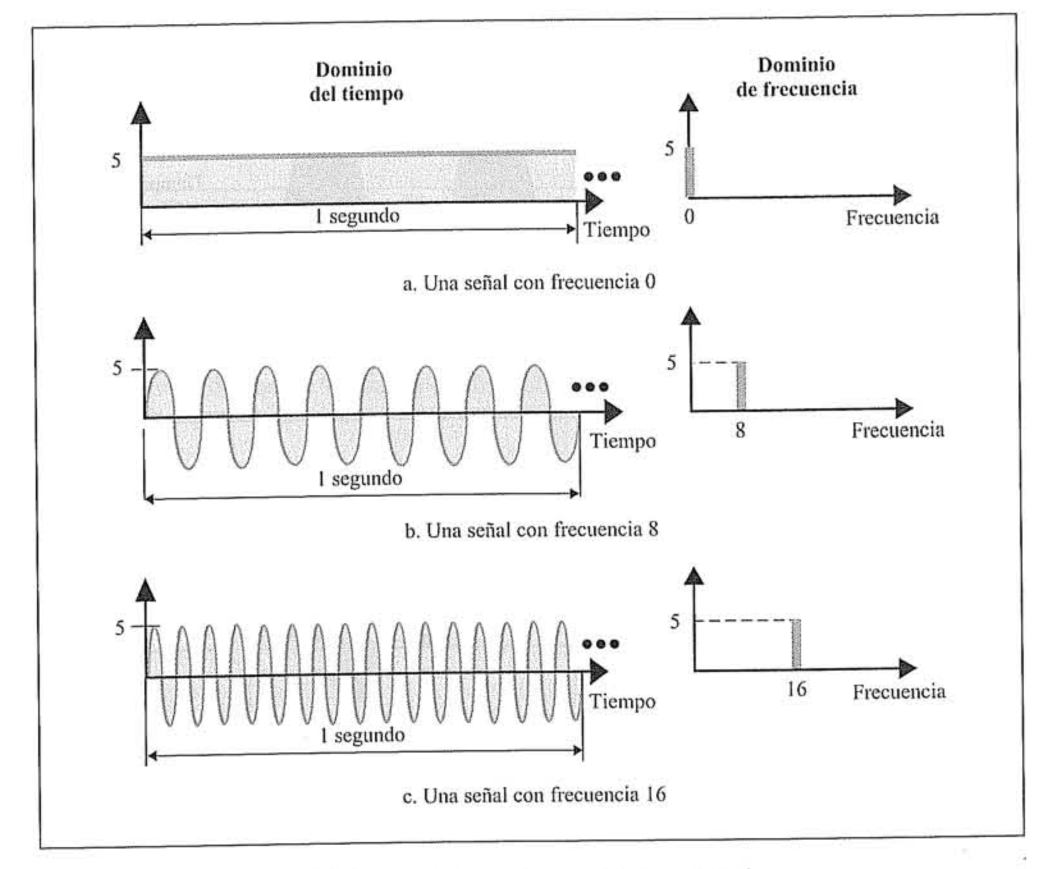


Figura 4.12. *Dominios del tiempo y la frecuencia para distintas señales.*

4.4. DOMINIOS DEL TIEMPO Y DE LA FRECUENCIA

Una onda seno queda completamente definida mediante su amplitud, frecuencia y fase. Hasta ahora se ha estado mostrando la onda seno mediante lo que se llama una **traza en el dominio del tiempo.** La traza en el dominio del tiempo muestra los cambios de la amplitud de la señal con respecto al tiempo (es una traza de la amplitud en función del tiempo). La fase y la frecuencia no se miden explícitamente en una traza en el dominio del tiempo.

Para mostrar la relación entre amplitud y frecuencia, se puede usar lo que se denomina una **traza en el dominio de la frecuencia.** La Figura 4.11 compara el dominio en el tiempo (amplitud instantánea con respecto al tiempo) y el dominio de la frecuencia (máxima amplitud con respecto a la frecuencia).

La Figura 4.12 muestra ejemplos de las trazas en el dominio del tiempo y en el de la frecuencia de tres señales con frecuencias y amplitudes variables. Compare los modelos en cada par para ver qué tipo de información se adapta mejor a cada traza.

> Una señal de baja frecuencia en el dominio de la frecuencia se corresponde a una señal con un periodo largo en el dominio del tiempo y viceversa. Una señal que cambia rápidamente en el dominio del tiempo se corresponde con frecuencias altas en el dominio de la frecuencia.

4.5. SEÑALES COMPUESTAS

Hasta ahora, hemos centrado nuestra atención sobre señales periódicas simples (ondas seno). Pero ¿qué ocurre con las señales periódicas que no son ondas seno? Hay muchas formas de onda útiles que no cambian de forma suave en una única curva entre una amplitud máxima y mínima; en lugar de eso saltan, se desplazan, se bambolean, tienen picos y presentan depresiones. Pero siempre que las irregularidades sean consistentes para cada ciclo, una señal sigue siendo periódica y lógicamente debe ser describible en los mismos términos que los usados para las ondas seno. De hecho, se puede demostrar que cualquier señal periódica, sin importar su complejidad, se puede descomponer en una colección de ondas seno, cada una de las cuales tiene una amplitud, frecuencia y fase que se puede medir.

Para descomponer una **señal compuesta** en sus componentes, hay que realizar un **análisis de Fourier** (tratado en el Apéndice D). Sin embargo, el concepto de esta descomposición se puede ver fácilmente con un ejemplo sencillo. La Figura 4.13 muestra una señal periódica descompuesta en dos ondas seno. La primera onda seno (traza central) tiene una frecuencia 6 mientras que la segunda onda seno tiene una frecuencia 0.

Sumando ambas ondas punto por punto se obtiene como resultado la gráfica de la parte superior de la figura. Observe que la señal original se parece a una onda seno que tiene el eje de tiempo desplazado hacia abajo. La amplitud media de esta señal no es 0. Este factor indica la presencia de un componente de frecuencia 0, denominado componente de **corriente continua (DC,** *Direct Current*). Este componente DC es responsable del desplazamiento hacia arriba en diez unidades de la onda seno.

En contraste con el gráfico del dominio del tiempo, que ilustra una señal compuesta con una única entidad, un gráfico de dominio de frecuencia muestra la señal compuesta como una serie de frecuencias compuestas. En lugar de mostrar el impacto de cada componente en los otros, muestra la señal como un conjunto de frecuencias independientes.

Aunque el gráfico del dominio del tiempo es más útil para comprender el impacto de ambas señales entre sí, las barras verticales en un gráfico del dominio de frecuencia dan una visión más concisa de las frecuencias relativas y de las amplitudes de las ondas seno compuestas.

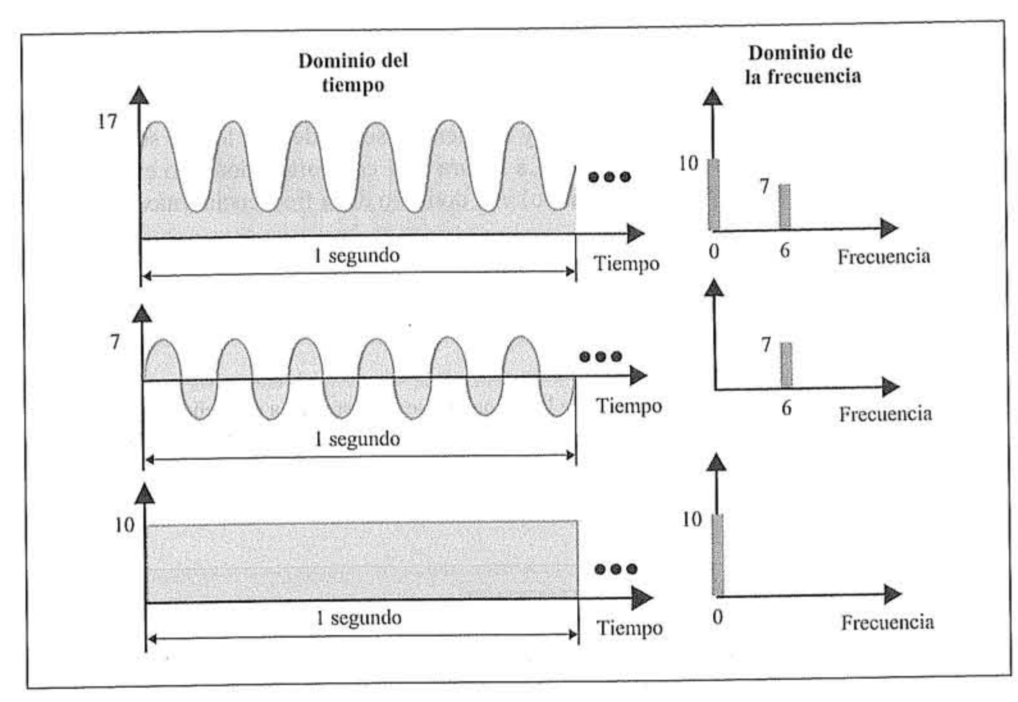


Figura 4.13. *Una señal con un componente DC.*

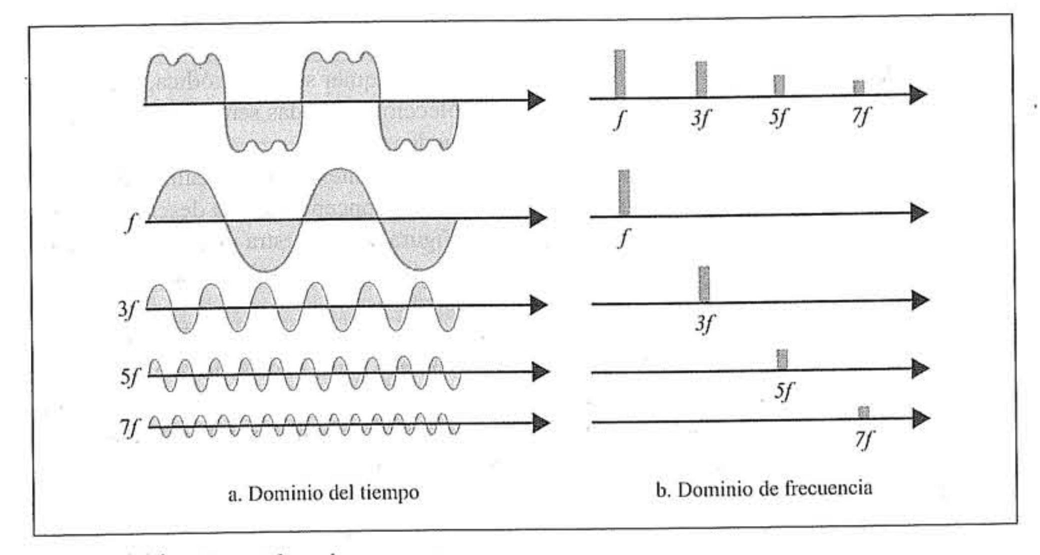


Figura 4.14. *Forma de onda compuesta.*

La Figura 4.14 muestra una señal compuesta descompuesta en cuatro componentes. Esta señal es muy parecida a una señal digital. Para una señal digital exacta, se necesita un número infinito de señales armónicas impares (f, $3f$, $5f$, $7f$, $9f$, ...), cada una de las cuales tiene una amplitud distinta. También se muestran en la figura los gráficos en el dominio de la frecuencia.

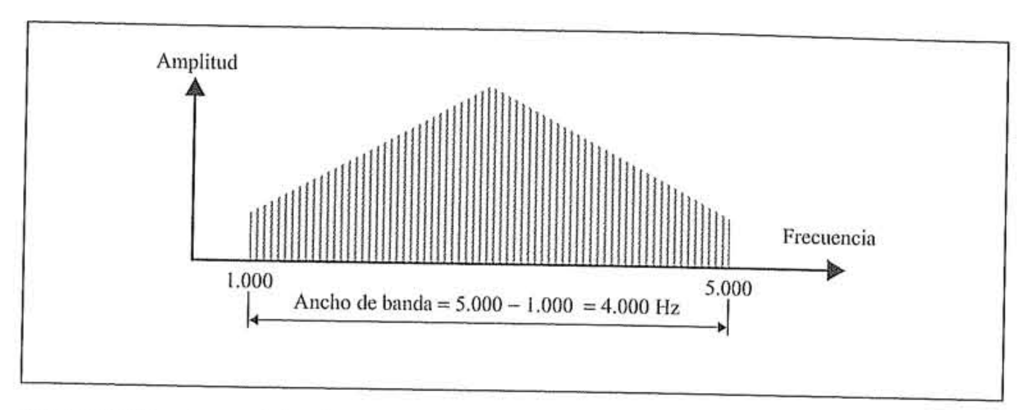


Figura 4.15. *Ancho de banda.*

Espectro de frecuencia y ancho de banda

A continuación, es necesario mencionar dos nuevos términos: *espectro* y *ancho de banda*. El **espectro** de frecuencia de una señal es la colección de todas las frecuencias componentes que contiene y se muestra usando un gráfico en el dominio de frecuencia. El **ancho de banda** de una señal es el ancho del espectro de frecuencia (véase la Figura 4.15). En otras palabras, el ancho de banda se refiere al rango de las frecuencias componentes y el espectro de frecuencia está relacionado con los elementos dentro de ese rango. Para calcular el ancho de banda, hay que sustraer la frecuencia más baja de la frecuencia más alta del rango.

El espectro de frecuencia de una señal es la combinación de todas las ondas seno que componen esa señal.

Ejemplo 4.8

Si se descompone una señal periódica en cinco ondas seno con frecuencias 100, 300, 500, 700 y 900 Hz, ¿cuál es su ancho de banda? Dibuje el espectro, asumiendo que todos los componentes tienen una amplitud máxima de 10 voltios.

Solución

Sea f_h la frecuencia más alta, f_l y B el ancho de banda. Entonces,

$$B = f_h - f_l = 900 - 100 = 800 \text{ Hz}$$

El espectro tiene solamente cinco barras, en 100, 300, 500, 700 y 900 (véase la Figura 4.16).

Ejemplo 4.9

Una señal tiene un ancho de banda de 20 Hz. La frecuencia más alta es 60 Hz. ¿Cuál es la frecuencia más baja? Dibuje el espectro si la señal contiene todas las frecuencias integrales de la misma amplitud.

Solución

Sea f_h la frecuencia más alta, f_l la frecuencia más baja y B el ancho de banda. Entonces,

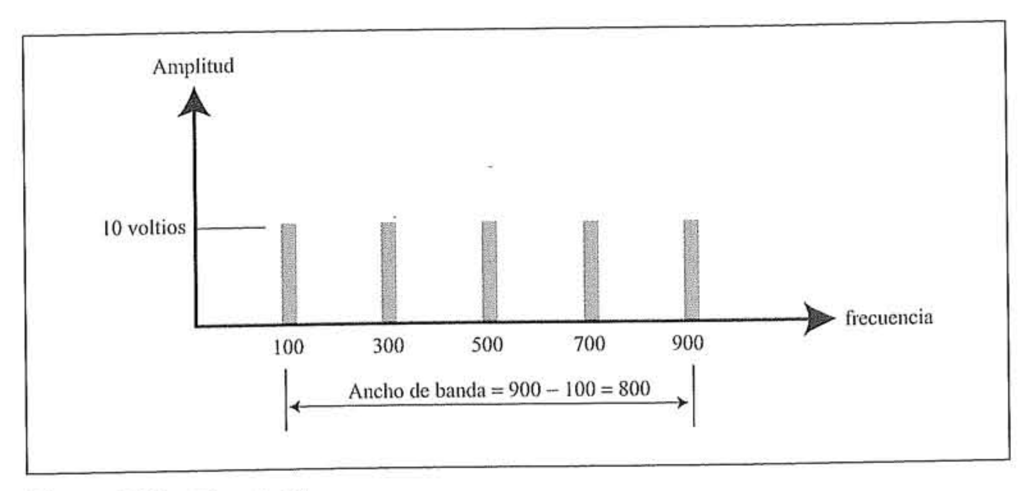


Figura 4.16. *Ejemplo 4.8.*

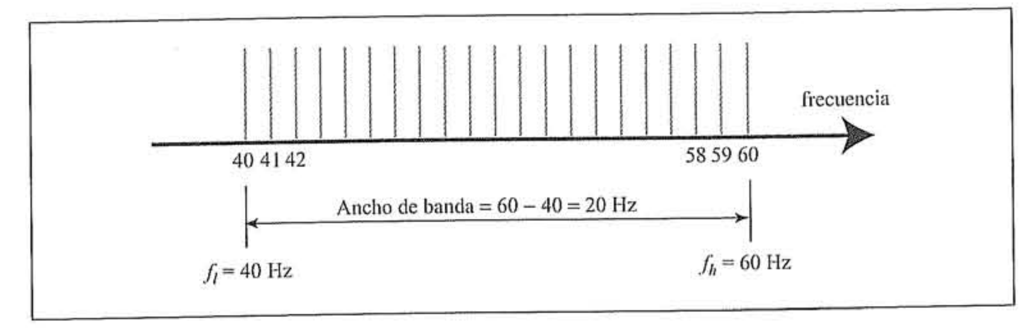


Figura 4.17. *Ejemplo 4.9.*

$$B = f_h - f_l \rightarrow 20 = 60 - f_l \rightarrow f_l = 60 - 20 = 40 \text{ Hz}$$

El espectro contiene todas la frecuencias integrales. Se muestran mediante una serie de barras (véase la Figura 4.17)

4.6. SEÑALES DIGITALES

Además de poder representarse con una señal analógica, los datos también se pueden representar mediante una señal digital. Por ejemplo, un 1 se puede codificar como un voltaje positivo y un 0 como un voltaje cero (véase la Figura 4.18).

Intervalo de bit y tasa de bit

La mayoría de las señales digitales son aperiódicas y, por tanto, la periodicidad o la frecuencia no es apropiada. Se usan dos nuevos términos para describir una señal digital: *intervalo de bit* (en lugar del periodo) y *tasa de bit* (en lugar de la frecuencia). El **intervalo de bit** es el tiempo necesario para enviar un único bit. La **tasa de bit** es el número de intervalos de bit por segundo. Esto significa que la tasa de bit es el número de bit enviados en un segundo, habitualmente expresado en **bits por segundo (bps)**. Véase la Figura 4.19.

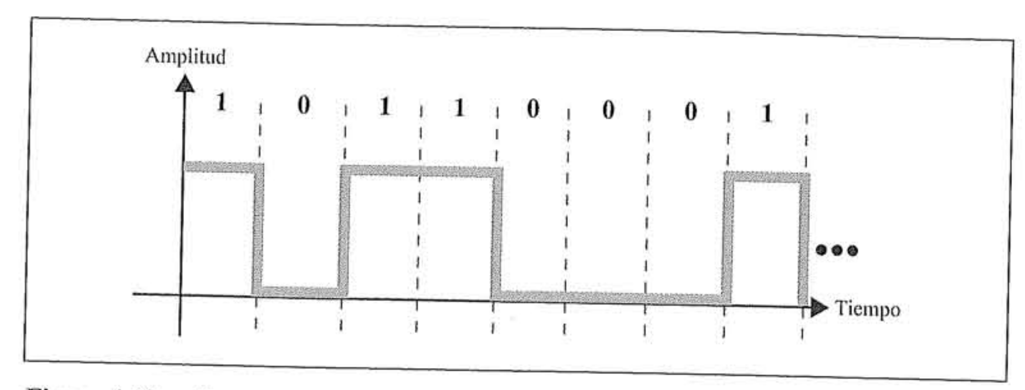


Figura 4.18. *Una señal digital.*

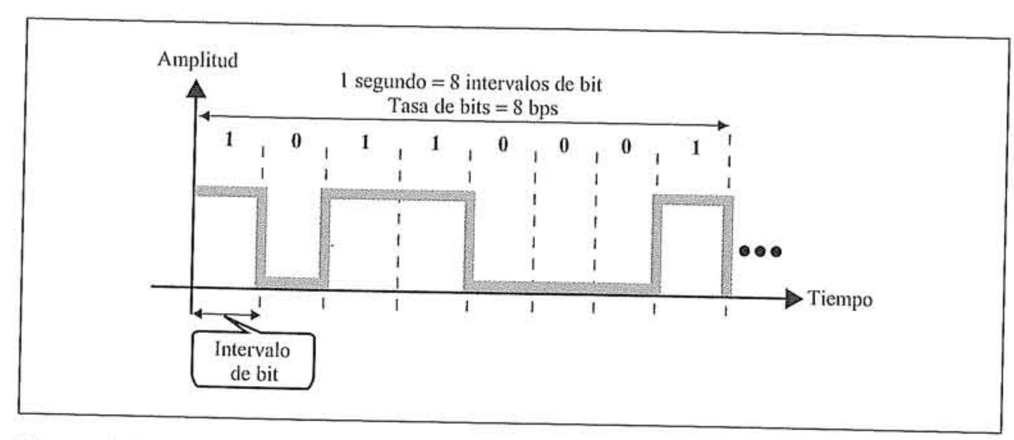


Figura 4.19. *Tasa de bits e Intervalo de bit.*

Ejemplo 4.10

Una señal digital tiene una tasa de bits de 2.000 bps. ¿Cuál es la duración de cada bit (intervalo de bit)?

Solución

El intervalo de bit es la inversa de la tasa de bits.

intervalo de bit = 1/(tasa de bits) = 1/2.000 = 0,000500 segundos = 500×10^{-6} segundos = 500 μs

Ejemplo 4.11

Una señal digital tiene un intervalo de bit de 40 microsegundos. ¿Cuál es la tasa de bits?

Solución

La tasa de bits es la inversa del intervalo de bit.

tasa de bits = 1/(intervalo de bit) = $1/(40 \times 10^{-6})$ = 25.000 bits77 por segundo = 25×10^3 bits por segundo = 25 Kbps.

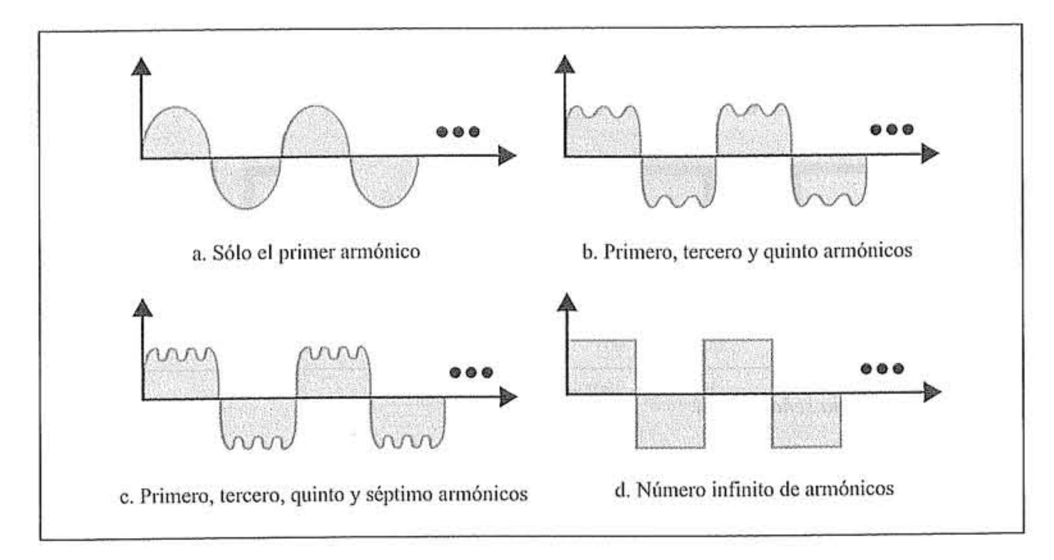


Figura 4.20. *Armónicos de una señal digital.*

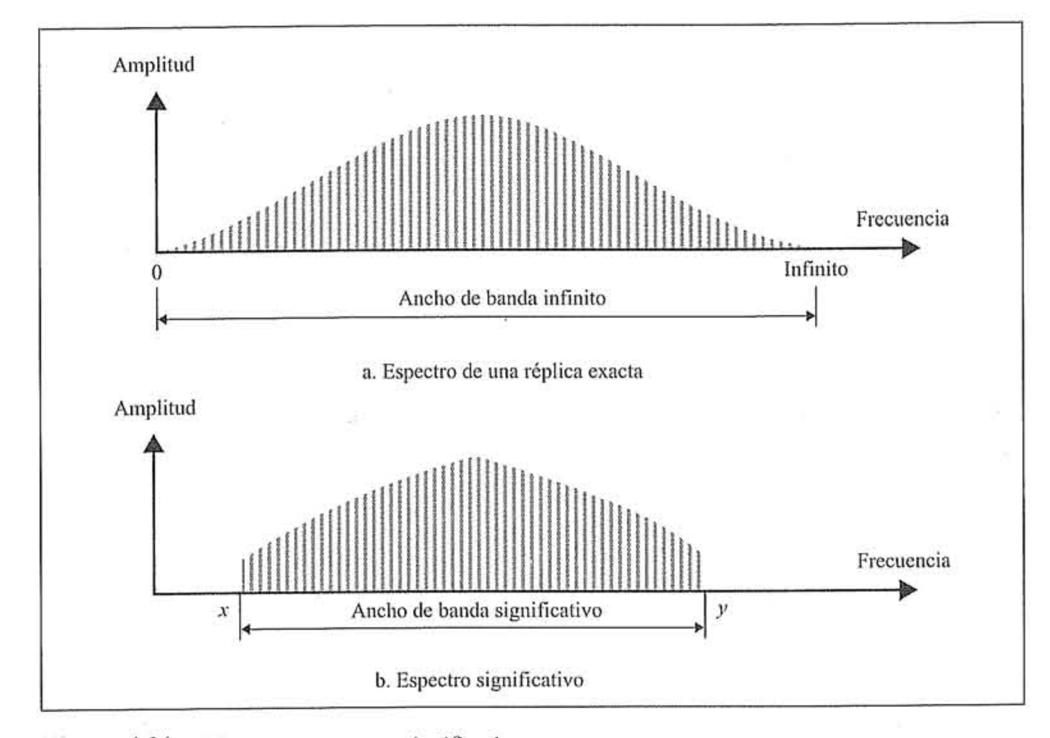


Figura 4.21. *Espectros exactos y significativos.*

Descomposición de una señal digital

Una señal digital se puede descomponer en un número infinito de ondas seno sencillas denominadas **armónicos,** cada uno de los cuales tiene una amplitud, frecuencia y fase distintas (véase la Figura 4.20). Esto significa que cuando se envía una señal digital por un medio de transmisión, se están enviando un número infinito de señales simples. Para recibir una réplica exacta de la señal digital, todos los componentes de frecuencia deben ser transferidos exactamente a través del medio de transmisión. Si alguno de los componentes no se envía bien a través del medio, el receptor obtendrá una señal corrupta. Puesto que no hay ningún medio práctico (como un cable) que sea capaz de transferir todo el rango completo de frecuencias, siempre existe una cierta corrupción.

Aunque el espectro de frecuencia de una señal digital tiene un número infinito de frecuencias con distintas amplitudes, si se envían solamente aquellos componentes cuyas amplitudes son significativas (están por encima de un umbral aceptable), todavía se puede reconstruir la señal digital en el receptor con una exactitud razonable (distorsión mínima). A esta parte del espectro infinito se la llama el espectro significativo y a su ancho de banda se le denomina el ancho de banda significativo (véase la Figura 4.21).

4.7. TÉRMINOS Y CONCEPTOS CLAVE

amplitud
análisis de Fourier
analógico
ancho de banda
bits por segundo (bps)
ciclo
código
corriente continua (DC)
datos analógicos
datos digitales
digital
espectro
fase
frecuencia
gigaherzio (GHz)
harmónicos
herzio (Hz)
intervalo de bit
kiloherzio (KHz)
megaherzio (MHz)
microsegundo
milisegundo
nanosegundo
onda seno
periodo
picosegundo
señal
señal analógica
señal aperiódica
señal compuesta
señal digital
señal periódica
tasa de bits
teraherzio (THz)
transformada de Fourier
traza en el dominio de la frecuencia
traza en el dominio del tiempo

4.8. RESUMEN

- La información se debe transformar en señales electromagnéticas antes de enviarla a través de una red.
- La información y las señales pueden ser analógicas (valores continuos) o digitales (valores discretos).
- Una señal es periódica si está formada por un patrón que se repite continuamente.
- Una señal periódica se puede descomponer en un conjunto de ondas seno.

- Cada onda seno se puede caracterizar por su
  a. Amplitud—la altura de la onda en cada instante.
  b. Frecuencia—el número de ciclos por segundo.
  c. Fase—el desplazamiento de la onda a lo largo del eje del tiempo.
- La frecuencia y el periodo son inversos entre sí.
- Un gráfico en el dominio del tiempo dibuja la amplitud con una función del tiempo.
- Un gráfico en el dominio del tiempo dibuja la amplitud de cada pico de la onda seno en relación con su frecuencia.
- El ancho de banda de una señal es el rango de frecuencias que ocupa la señal. El ancho de banda se determina hallando la diferencia entre los componentes de frecuencia mayores y menores.
- El espectro de una señal está formado por las ondas seno que componen la señal.
- La tasa de bits (número de bits por segundo) y el intervalo de bit (duración de un bit) son términos que se usan para describir las señales digitales.
- Una señal digital se puede descomponer en un número infinito de ondas seno (armónicos).
- El espectro significativo de una señal digital es la porción del espectro de la señal que puede usarse para reproducir adecuadamente la señal original.

4.9 MATERIAL PRÁCTICO

Preguntas de revisión

1. Describa las tres características de una onda seno.
2. ¿Cuál es el espectro de una señal?
3. ¿Cuál es la diferencia entre información y señales?
4. Dé dos ejemplos de información analógica.
5. Dé dos ejemplos de información digital.
6. Contraste una señal analógica con una señal digital.
7. Contraste una señal periódica con una señal aperiódica.
8. ¿Cuál es la diferencia entre los datos digitales y los datos analógicos?
9. Se ha recibido una señal que solamente tiene valores –1, 0 y 1. ¿Es esta una señal analógica o digital?
10. ¿Cuál es la relación entre periodo y frecuencia?
11. ¿Cuáles son las unidades del periodo?
12. ¿Cuáles son las unidades de frecuencia?
13. Compare una señal de frecuencia alta con una señal de frecuencia baja.
14. ¿Qué mide la amplitud de una señal?
15. ¿Qué mide la frecuencia de una señal?
16. ¿Qué mide la fase de una señal?
17. Compare los ejes de una traza en el dominio del tiempo con los ejes de una traza en el dominio de frecuencia.
18. ¿Cuál es la diferencia entre una señal periódica simple y una señal periódica compuesta?
19. ¿Qué tipo de gráfica muestran los componentes de una señal compuesta?
20. ¿Qué tipo de gráfica muestra la amplitud de una señal en un momento determinado?

21. ¿Qué tipo de gráfica muestra la fase de una señal en un momento determinado?
22. ¿Cuál es el ancho de banda en relación a su espectro?
23. ¿Cómo puede una señal compuesta descomponerse en subfrecuencias individuales?
24. ¿Qué es el intervalo de bit y cuál es su contraparte en una señal analógica?
25. ¿Cuál es la tasa de bits y cuál es su contraparte en una señal digital?

Preguntas con respuesta múltiple

26. Antes de poder transmitir la información, debe transformarse en _____.
    a. señales periódicas
    b. señales electromagnéticas
    c. señales aperiódicas
    d. onda seno de baja frecuencia
27. Una señal periódica completa un ciclo en 0,001 segundo. ¿Cuál es su frecuencia?
    a. 1 Hz
    b. 100 Hz
    c. 1 KHz
    d. 1 MHz
28. ¿Cuál de las respuestas siguientes puede ser determinada mediante un gráfico de una señal en el dominio de la frecuencia?
    a. frecuencia
    b. fase
    c. potencia
    d. todas las anteriores
29. ¿Cuál de las respuestas siguientes se puede determinar mediante un gráfico en el dominio de la frecuencia de una señal?
    a. ancho de banda
    b. fase
    c. potencia
    d. todas las anteriores
30. En una traza en el dominio de la frecuencia, el eje vertical mide la _____.
    a. amplitud pico
    b. frecuencia
    c. fase
    d. pendiente
31. En una traza en el dominio de la frecuencia, el eje horizontal mide la _____.
    a. amplitud pico
    b. frecuencia
    c. fase
    d. pendiente
32. En una traza en el dominio del tiempo, el eje vertical es una medida de _____.
    a. amplitud
    b. frecuencia
    c. fase
    d. tiempo
33. En una traza en el dominio del tiempo, el eje horizontal es una medida de _____.
    a. amplitud de señal

b. frecuencia
c. fase
d. tiempo

34. Si el ancho de banda de una señal es 5 KHz y la frecuencia más baja es 52 KHz, ¿cuál es la frecuencia más alta?
a. 5 KHz
b. 10 KHz
c. 47 KHz
d. 57 KHz

35. ¿Cuál es el ancho de banda de una señal cuyo rango varía de 40 KHz a 4 MHz?
a. 36 MHz
b. 360 KHz
c. 3,96 MHz
d. 396 KHz

36. Cuando uno de los componentes de una señal tiene frecuencia 0, la amplitud media de la señal ____.
a. es mayor que cero
b. es menor que cero
c. es cero
d. a o b

37. Una señal periódica siempre se puede descomponer en _____.
a. exactamente un número impar de ondas seno
b. un conjunto de ondas seno
c. un conjunto de ondas seno, cada uno de los cuales debe tener una fase de cero grados
d. ninguna de las anteriores

38. A medida que se aumenta la frecuencia, el periodo _____.
a. se incrementa
b. decrementa
c. sigue igual
d. se dobla

39. Dadas dos ondas seno A y B, si la frecuencia de A es dos veces la de B, entonces el periodo de B es _____ que la de A.
a. la mitad
b. doble
c. el mismo
d. indeterminada

40. En la Figura 4.2, parte a, ¿cuántos valores se han representado a lo largo del eje vertical?
a. 1
b. 2
c. 3
d. un número de valores infinito

41. En la Figura 4.2, parte b, ¿cuántos valores se han representado a lo largo del eje vertical?
a. 1
b. 2
c. 3
d. un número infinito de valores

42. Una onda seno es _____.

a. periódica y continua
b. aperiódica y continua
c. periódica y discreta
d. aperiódica y discreta

43. Si la amplitud máxima de una onda seno es de 2 voltios, la amplitud mínima es _____ voltios
a. 2
b. 1
c. –2
d. entre –2 y 2

44. Una onda seno completa 1.000 ciclos en un segundo. ¿Cuál es su periodo?
a. 1 ms
b. 10 ms
c. 100 ms
d. 1.000 ms

45. En la Figura 4.7, parte b, si la amplitud máxima es A y el periodo es P segundos, ¿cuál es la amplitud en P/2 segundos?
a. A
b. –A
c. 0
d. cualquier valor entre A y –A

Ejercicios

46. Cuántos KHz son
a. ¿un Hz?
b. ¿un MHz?
c. ¿un GHZ?
d. ¿un THz?

47. Reescriba lo siguiente
a. 10.000 Hz en KHz
b. 25.340 KHz en MHz
c. 108 GHz en KHz
d. 2.456.764 Hz en MHz

48. Reescriba lo siguiente
a. 0,005 segundos en milisegundos
b. 0,1231 milisegundos en microsegundos
c. 0,0000234 segundos en picosegundos
d. 0,003451 segundos en nanosegundos

49. Dadas las frecuencias que se listan a continuación, calcule sus periodos correspondientes. Exprese los resultados en segundos, milisegundos, microsegundos, nanosegundos y picosegundos.
a. 24 Hz
b. 8 MHz
c. 140 KHz
d. 12 THz

50. Dados los siguientes periodos, calcule sus frecuencias correspondientes. Exprese las frecuencias en Hz, KHz, MHz, GHz y THz.

a. 5 s
b. 12 μs
c. 220 ns
d. 81 ps

51. ¿Cuál es el desplazamiento de fase de las siguientes opciones?
a. Una onda seno con una amplitud máxima en tiempo cero.
b. Una onda seno con una amplitud máxima después de 1/4 de ciclo.
c. Una onda seno con una amplitud cero después de 3/4 de ciclo y en fase creciente.
d. Una onda seno con una amplitud mínima después de 1/4 de ciclo.
52. Muestre el desplazamiento de fase en grados correspondiente a cada uno de los siguientes retrasos en ciclo:
a. 1 ciclo
b. 1/2 de ciclo
c. 3/4 de ciclo
d. 1/3 de ciclo
53. Muestre el retraso en ciclos que se corresponde con cada uno de los siguientes grados:
a. 45
b. 90
c. 60
d. 360
54. Dibuje una gráfica en el dominio del tiempo de una onda seno (solamente para 1 segundo) con una amplitud máxima de 15 voltios, una frecuencia de 5 y una fase de 270 grados.
55. Dibuje dos ondas seno en la misma gráfica de dominio del tiempo. Las características de cada señal se dan a continuación:
Señal A: amplitud 40, frecuencia 9, fase 0.
Señal B: amplitud 10, frecuencia 90, fase 90.
56. Dibuje dos periodos de una onda seno con un desplazamiento de fase de 90 grados. Sobre el mismo diagrama, dibuje una onda seno con la misma amplitud y frecuencia pero con un desplazamiento de 90 grados respecto a la primera.
57. ¿Cuál es el ancho de banda de una señal que se puede descomponer en cuatro ondas seno con frecuencias a 0 Hz, 20 Hz, 50 Hz y 200 Hz? Todas las amplitudes máximas son las mismas. Dibuje el espectro de frecuencia.
58. Una señal periódica compuesta con un ancho de banda de 2.000 Hz está compuesta por dos ondas seno. La primera tiene una frecuencia de 100 Hz con una amplitud máxima de 20 voltios; la segunda tiene una amplitud máxima de 5 voltios. Dibuje el espectro de frecuencia.
59. Muestre cómo una onda seno puede cambiar su fase dibujando dos periodos de una onda seno arbitraria con un desplazamiento de fase de 0 grados seguidos por dos periodos de la *misma señal* con un desplazamiento de fase de 90 grados.
60. Imagine que tenemos una onda seno llamada A. Muestre la negativa de A. En otras palabras, muestre la señal –A. ¿Se puede relacionar la negación de una señal con un desplazamiento de fase? ¿De cuántos grados?
61. ¿Qué señal tiene mayor ancho de banda: una señal que cambia 100 veces por segundo o una señal que cambia 200 veces por segundo?
62. ¿Cuál es la tasa de bit para cada una de las señales siguientes?
a. Una señal en la cual un bit dura 0,001 segundo.
b. Una señal en la cual un bit dura 2 milisegundos.

c. Una señal en la cual 10 bits duran 20 microsegundos.
d. Una señal en la cual 1.000 bits duran 250 picosegundos.
63. ¿Cuál es la duración de un bit para cada una de las señales siguientes?
a. Una señal con una tasa de bits de 100 bps.
b. Una señal con una tasa de bits de 200 Kbps.
c. Una señal con una tasa de bits de 5 Mbps.
d. Una señal con una tasa de bits de 1Gbps.
64. Un dispositivo está enviando datos con una tasa de 1.000 bps.
a. ¿Cuánto cuesta enviar 10 bits?
b. ¿Cuánto cuesta enviar un carácter (8 bits)?
c. ¿Cuánto cuesta enviar un archivo de 100.000 caracteres?
65. ¿Cuál es la tasa de bits en la Figura 4.22?
66. ¿Cuál es la frecuencia de la señal en la Figura 4.23?
67. Dibuje una representación en el dominio del tiempo (para el primer 1/100 segundo) de la señal que se muestra en la Figura 4.24.
68. Dibuje una representación en el dominio de la frecuencia de la señal que se muestra en la Figura 4.25.
69. ¿Cuál es el ancho de banda de la señal compuesta que se muestra en la Figura 4.26?
70. ¿Cuál es el ancho de banda de la señal que se muestra en la Figura 4.27?
71. Una señal compuesta contiene frecuencias desde 10 KHz a 30 KHz, cada una de ellas con una amplitud de 10 voltios. Dibuje el espectro de frecuencia.
72. Una señal compuesta contiene frecuencias que van desde los 10 KHz a los 30 KHz. La amplitud es 0 para las señales más altas y más bajas y 30 voltios para la señal de 20 KHz. Asumiendo que la amplitud cambia gradualmente del mínimo al máximo, dibuje el espectro de frecuencia.

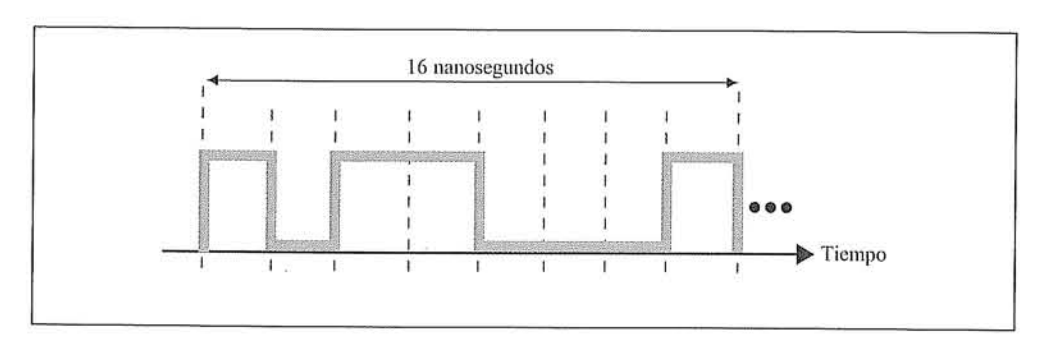


Figura 4.22. *Ejercicio 65.*

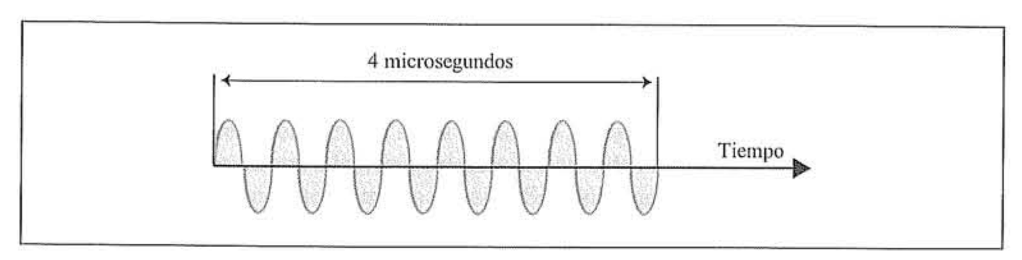


Figura 4.23. *Ejercicio 66.*

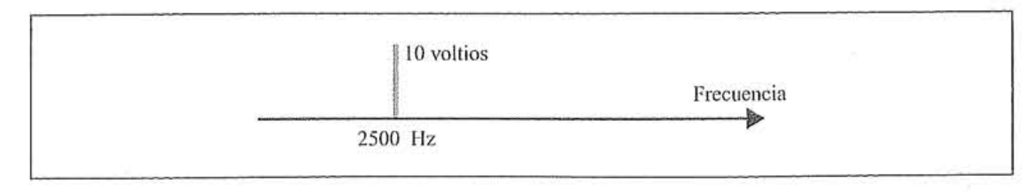


Figura 4.24. *Ejercicio 67.*

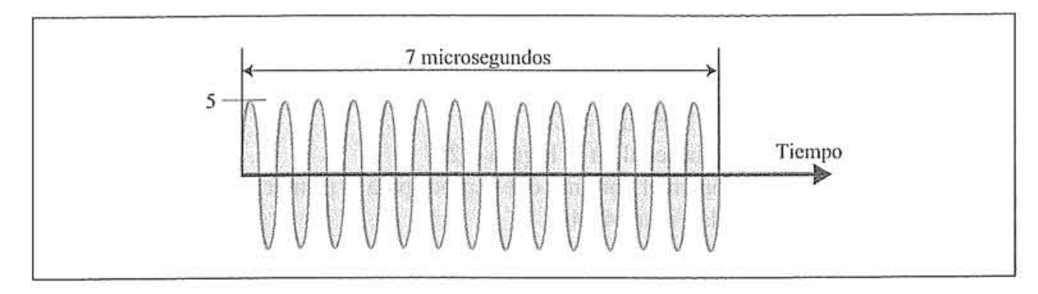


Figura 4.25. *Ejercicio 68.*

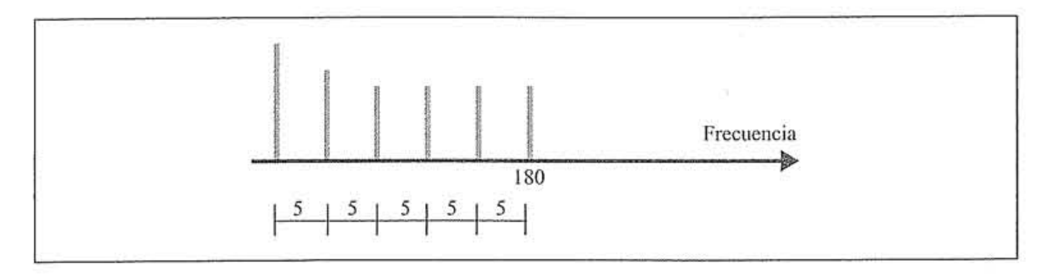


Figura 4.26. *Ejercicio 69.*

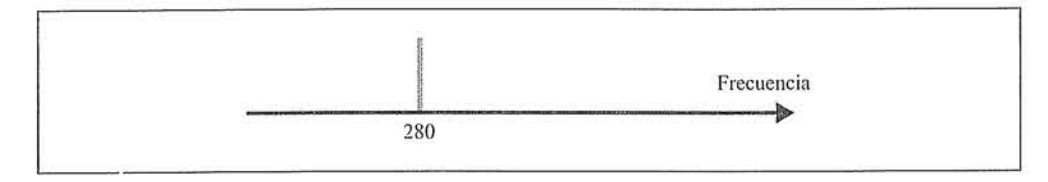


Figura 4.27. *Ejerecicio 70.*

73. Dos señales tienen la misma frecuencia. Sin embargo, cada vez que la primera señal está en su amplitud máxima, la segunda señal tiene una amplitud cero. ¿Cuál es el desplazamiento de fase entre las dos señales?

CAPÍTULO 5

Codificación y modulación

Como ya se dijo en el Capítulo 4, la información debe ser transformada en señales antes de poder ser transportada a través de un medio de comunicación.

> Es necesario transformar los datos en señales antes de enviarlos de un lugar a otro.

Cómo transformar la información depende de su formato original y del formato usado por el *hardware* de comunicaciones. Si se quiere enviar una carta de amor mediante señales de humo, es necesario saber qué patrones de humo se adecuan a las palabras de su mensaje antes de encender el fuego. Las palabras son información y las volutas de humo son una representación de esta información.

Una señal simple no transporta información de la misma forma que una línea recta no hace referencia a ninguna palabra. La señal debe ser manipulada, introduciéndole cambios identificables que puedan ser reconocidos en el emisor y el receptor como representativos de la información transmitida. Primero la información debe ser traducida a patrones acordados de ceros y unos, por ejemplo usando el *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII) tabulado en el Apéndice A.

Los datos se almacenan en una computadora en forma de ceros y unos. Habitualmente, para transportarlos de un lugar a otro (dentro o fuera de la computadora), es necesario convertirlos en señales digitales. Esto es lo que se denomina *conversión digital a digital* o *codificación de los datos digitales dentro de una señal digital.*

A veces es necesario convertir una señal analógica (como la voz en una conversación telefónica) en una señal digital por distintas razones, como reducir el efecto del ruido. Esto es lo que se denomina *conversión analógica a digital* o *digitalización de una señal analógica.*

Otras veces, se requiere enviar una señal digital que sale de una computadora a través de un medio diseñado para transmitir señales analógicas. Por ejemplo, para enviar datos de un lugar a otro usando la red pública de telefonía, sería necesario convertir la señal digital producida por la computadora en una señal analógica. Esto es lo que se denomina *conversión digital a analógica* o *modulación de una señal digital.*

A menudo se desea enviar una señal analógica a larga distancia utilizando medios analógicos. Por ejemplo, la voz o la música de una estación de radio, que naturalmente emite una señal analógica, se transmiten a través del aire. Sin embargo, la frecuencia de la música o la voz no es apropiada para este tipo de transmisión. La señal debería ser transportada mediante una señal de alta frecuencia. Esto es lo que se denomina *conversión de analógico a analógico* o *modulación de una señal analógica.*

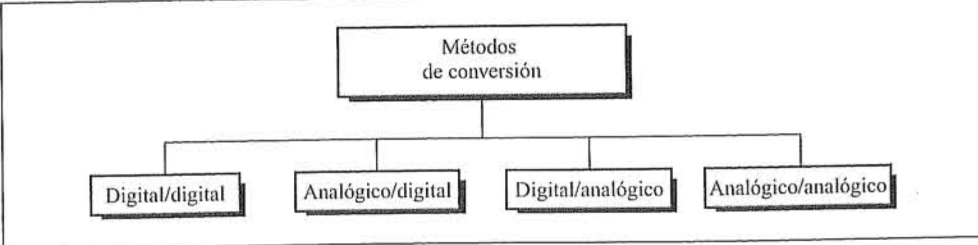


Figura 5.1. *Distintos esquemas de conversión.*

La Figura 5.1 muestra estos cuatro métodos de conversión distintos.

5.1. CONVERSIÓN DIGITAL A DIGITAL

La **codificación** o conversión **digital a digital,** es la representación de la información digital mediante una señal digital. Por ejemplo, cuando se transmiten datos desde su computadora a su impresora, tanto los datos originales como los datos transmitidos son digitales. En este tipo de **codificación,** los unos y ceros binarios generados por una computadora se traducen a una secuencia de pulsos de voltaje que se pueden propagar por un cable. La Figura 5.2 muestra la relación entre la información digital, el *hardware* de codificación digital a digital y la señal digital resultante.

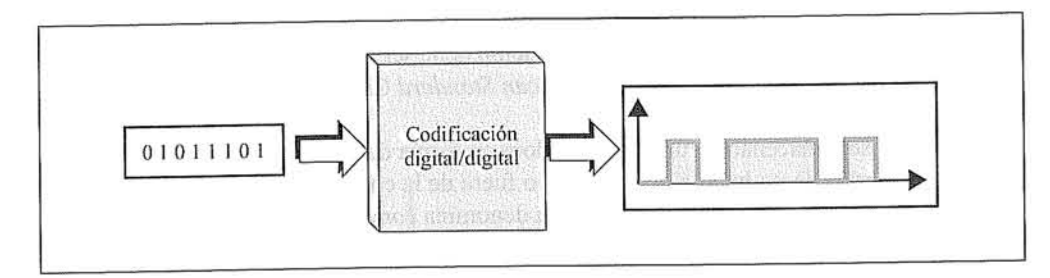


Figura 5.2. *Codificación digital a digital.*

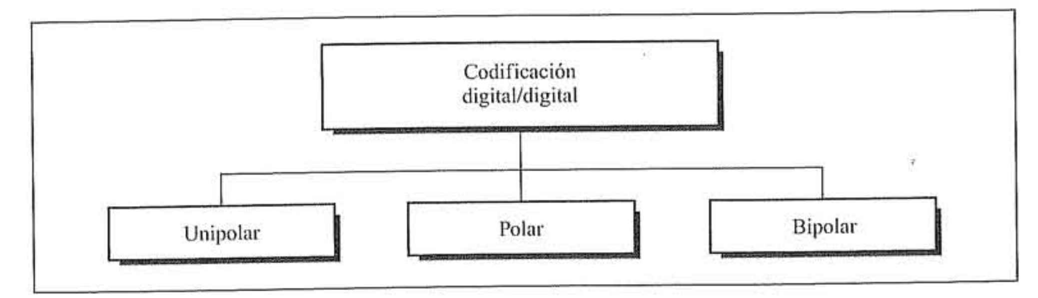


Figura 5.3. *Tipos de codificación digital a digital.*

De todos los mecanismos usados para la codificación digital a digital, se van a tratar únicamente los más útiles para la transmisión de datos, que se pueden agrupar en tres amplias categorías: *unipolar, polar* y *bipolar* (véase la Figura 5.3).

La **codificación unipolar** es sencilla ya que sólo usa una única técnica. La **codificación polar** tiene tres subcategorías, NRZ, RZ y bifásica, dos de las cuales tienen múltiples variantes. La tercera opción, **codificación bipolar,** tiene tres variaciones: AMI, B8ZS y HDB3.

Unipolar

La codificación unipolar es muy sencilla y muy primitiva. Aunque actualmente está casi obsoleta, su sencillez proporciona una forma fácil de presentar los conceptos usados con los sistemas de codificación más complejos y permite examinar los tipos de problemas que se deben resolver en los sistemas de transmisión digital.

El sistema de transmisión digital funciona enviando pulsos de voltaje por un medio de enlace, habitualmente un cable o un hilo. En la mayoría de los tipos de codificación, hay un nivel de voltaje para el 0 binario y otro nivel de voltaje para el 1. La polaridad del impulso indica si es positivo o negativo. La codificación unipolar se denomina así porque usa únicamente una polaridad. Esta polaridad se asigna a uno de los dos estados binarios, habitualmente el 1. El otro estado, habitualmente el 0, se representa por el voltaje 0.

La codificación unipolar usa únicamente un valor de nivel.

La Figura 5.4 muestra la idea de la codificación unipolar. En este ejemplo, los unos se codifican con un valor positivo y los ceros se codifican como el valor cero. Además de ser muy sencilla, la codificación unipolar admite una implementación barata.

Sin embargo, la codificación unipolar tiene al menos dos problemas que la hacen poco deseable: una componente DC y la sincronización.

Componente DC

La amplitud media de una señal con codificación unipolar no es cero. Esto crea lo que se llama una componente de corriente continua (DC) (un componente con frecuencia cero). Cuando una señal contiene una componente DC, no puede viajar a través de medios que no pueden gestionar este tipo de componentes.

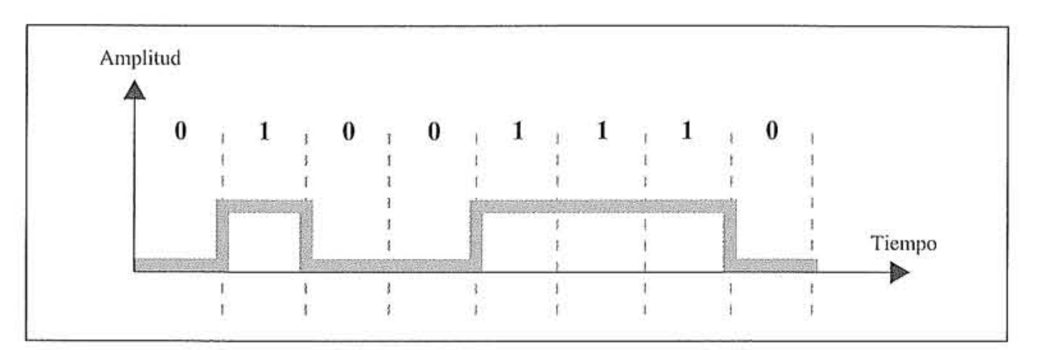


Figura 5.4. *Codificación unipolar.*

Sincronización

Cuando una señal no varía, el receptor no puede determinar el principio y el final de cada bit. Por tanto, en la codificación unipolar puede haber problemas de sincronización siempre que el flujo de datos contenga largas series ininterrumpidas de ceros y unos. Los esquemas de codificación digital usan cambios en el nivel de voltaje para indicar cambios en el tipo de bit. Un cambio de señal indica también que un bit ha terminado y que ha comenzado un nuevo bit. Sin embargo, en la codificación unipolar, una serie del mismo tipo de bit, digamos siete unos, no generará cambios de voltaje, existiendo solamente una línea de voltaje positivo que dura siete veces más que la de un único bit. Puesto que no hay cambio de señal para indicar el comienzo de la siguiente secuencia de bits, el receptor tiene que confiar en un temporizador. Dada una tasa de bit esperada de 1.000 bps, si el receptor detecta un voltaje positivo que dura 0,005 segundos, interpreta que recibe un 1 cada 0,001 segundo, es decir, cinco unos.

Por desgracia, la falta de sincronización entre los relojes del emisor y el receptor distorsiona la temporización de la señal de forma que, por ejemplo, cinco unos pueden ser enviados en 0,006 segundos, originando la recepción de un bit 1 extra en el receptor. Este bit extra en el flujo de datos hace que todo lo que llegue detrás se decodifique erróneamente. Para controlar la sincronización de los medios de transmisión unipolar se ha desarrollado una solución consistente en usar una línea distinta que, en paralelo, lleva un pulso de reloj y que permite al dispositivo de recepción resincronizar su temporizador con el de la señal. Pero doblar el número de líneas usadas para la transmisión incrementa el coste y da como resultado soluciones poco económicas.

Polar

La codificación polar usa dos niveles de voltaje: uno positivo y uno negativo. Gracias al uso de dos niveles, en la mayoría de los métodos de codificación polar se reduce el nivel de voltaje medio de la línea y se alivia el problema de la componente DC existente en la codificación unipolar. En las **codificaciones Manchester** y **Manchester diferencial** (véase la página 91), cada bit se define mediante voltajes positivos y negativos, de tal forma que la componente DC queda totalmente eliminada.

La codificación polar usa dos niveles de amplitud (positiva y negativa).

De las muchas variantes existentes de la codificación polar, examinaremos solamente las tres más populares: **sin retorno a cero (NRZ), con retorno a cero (RZ)** y **bifásica**. La codificación NRZ incluye dos métodos: **sin retorno al nivel cero, nivel (NRZ-L)** y **sin retorno a cero invertido (NRZ-I)**. El método bifásico también tiene dos variantes. El primero, el Manchester, es el método usado en las LAN de tipo Ethernet. El segundo, Manchester diferencial, es el método usado en las LAN de tipo Token Ring (véase la Figura 5.5).

Sin retorno a cero (NRZ)

En la codificación NRZ, el nivel de la señal es siempre positivo o negativo. A continuación se muestran los dos métodos más populares de transmisión NRZ.

NRZ-L En la codificación NRZ-L, el nivel de la señal depende del tipo de bit que representa. Habitualmente, un valor de voltaje positivo indica que el bit es un 0 y un valor de voltaje negativo significa que el bit es un 1 (o viceversa); por tanto, el nivel de la señal depende del estado del bit.

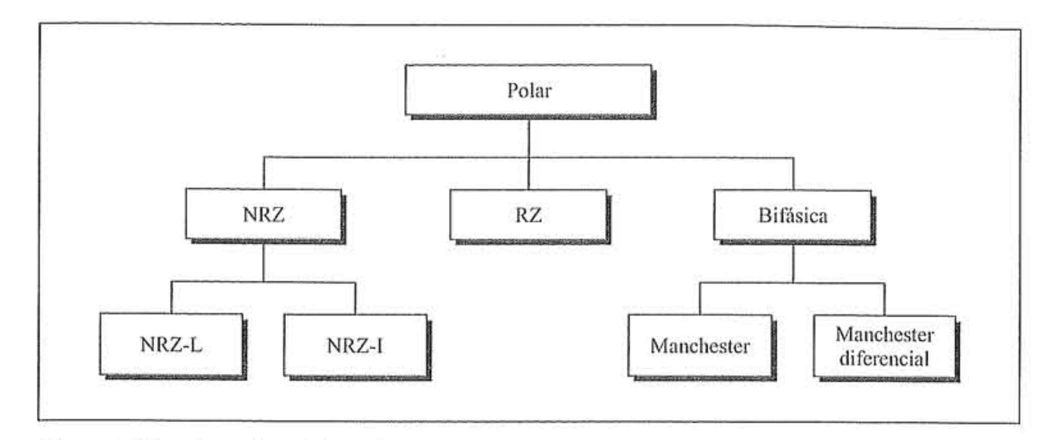


Figura 5.5. *Tipos de codificación polar.*

En NRZ-L el nivel de la señal depende del estado del bit.

Cuando hay un flujo grande de ceros o unos en los datos puede surgir un problema. El receptor recibe un voltaje continuo y debería determinar cuántos bits se han enviado mediante su reloj, que puede estar o no sincronizado con el reloj del emisor.

NRZ-I En NRZ-I, una inversión del nivel de voltaje representa un bit 1. Es la transición entre el valor de voltaje positivo y negativo, no los voltajes en sí mismos, lo que representa un bit 1. Un bit 0 se representa sin ningún cambio. NRZ-I es mejor que NRZ-L debido a la sincronización implícita provista por el cambio de señal cada vez que se encuentra un 1. La existencia de unos en el flujo de datos permite al receptor sincronizar su temporizador con la llegada real de la transmisión. Las tiras de ceros todavía pueden causar problemas, pero debido a que los ceros son menos frecuentes, el problema es menor.

En NRZ-I la señal se invierte si se encuentra un 1.

La Figura 5.6 muestra las representaciones NRZ-L y NRZ-I de la misma serie de bits. En la secuencia NRZ-L, los voltajes positivos y negativos tienen un significado específico: positivo para 0 y negativo para 1. En la secuencia NRZ-I, los voltajes no tienen significado por sí mismos. En su lugar, el receptor mira los cambios de nivel como base para reconocer los unos.

Con retorno a cero (RZ)

Como se puede ver, siempre que los datos originales contienen tiras de unos o ceros consecutivos, el receptor puede sufrir pérdidas. Como se mencionó en la discusión de la codificación unipolar, una forma de asegurar la sincronización es enviar una señal específica para temporización por un canal distinto. Sin embargo, esta solución es cara y genera sus propios errores. Una solución mejor es incluir de alguna forma la sincronización dentro de la señal codificada, algo similar a la solución provista por NRZ-I, pero capaz de manejar tiras de ceros y de unos.

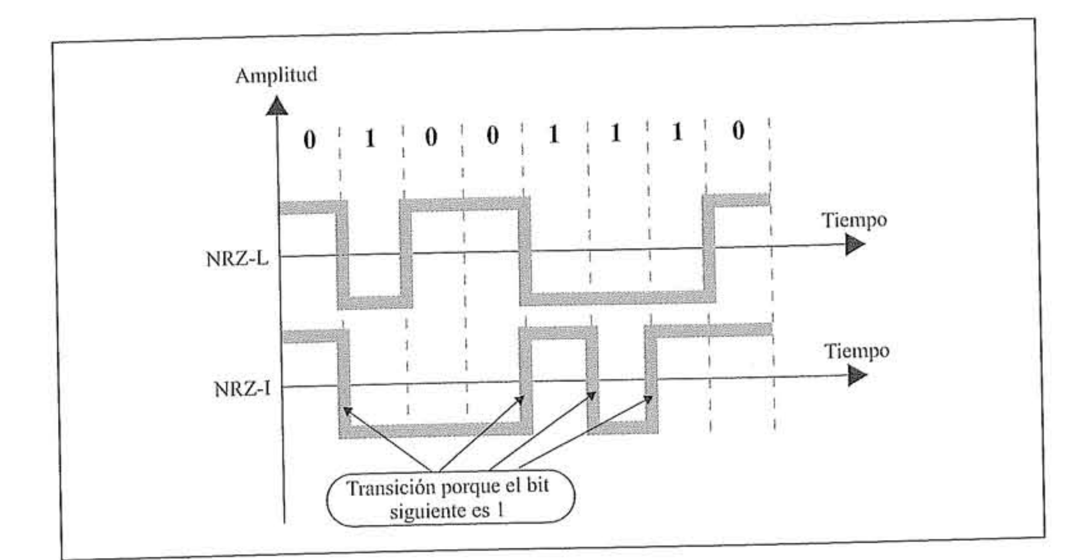


Figura 5.6. *Codificación NRZ-L y NRZ-I.*

Para asegurar la sincronización debe haber un cambio de señal para cada bit. El receptor puede usar estos cambios para construir, actualizar y sincronizar su reloj. Como se vio anteriormente, la técnica NRZ-I hace esto para secuencias de unos. Pero para que haya cambios con cada bit, es necesario tener más de dos valores. Una solución es la codificación con retorno a cero (RZ), que usa tres valores: positivo, negativo y cero. En RZ, la señal no cambia entre los bits sino durante cada bit. Al igual que NRZ-L, un voltaje positivo significa 1 y un voltaje negativo significa 0. Pero, a diferencia de NRZ-L, a medio camino en cada intervalo de bit, la señal vuelve a 0. Un bit 1 se representa realmente por una transición del voltaje positivo al cero y un bit 0 por una transición del voltaje negativo al cero, en lugar de por una transición positiva o negativa únicamente. La Figura 5.7 ilustra este concepto.

La principal desventaja de la codificación RZ es que necesita dos cambios de señal para codificar un bit y, por tanto, ocupa más ancho de banda. Pero, de las tres alternativas examinadas hasta el momento, es la más efectiva.

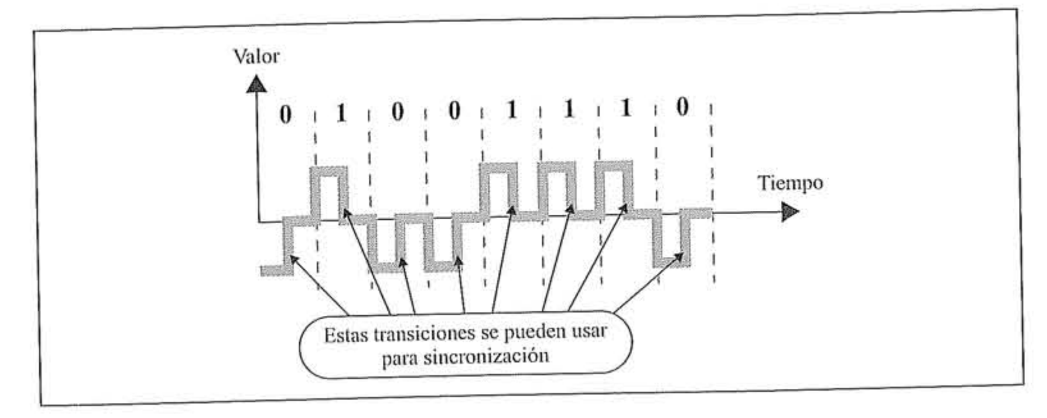


Figura 5.7. *Codificación RZ.*

> Una buena codificación de señal digital debe contener datos para sincronización.

Bifásica

Probablemente, la mejor solución existente para el problema de la sincronización es la codificación bifásica. En este método, la señal cambia en medio del intervalo de bit, pero no vuelve a cero. En lugar de eso, continúa hasta el polo opuesto. Como en RZ, estas transiciones a mitad del intervalo permiten la sincronización.

Como se mencionó anteriormente, en las redes se usan actualmente dos tipos de codificación bifásica: Manchester y Manchester diferencial.

> La codificación bifásica se implementa de dos formas distintas: Manchester y Manchester diferencial.

Manchester. La codificación Manchester usa la inversión en mitad de cada intervalo de bit para sincronizar y para representar bits. Una transición de negativo a positivo representa un 1 binario y una transición positivo a negativo representa un 0 binario. Usando una transición con ese doble objetivo, la codificación Manchester logra el mismo nivel de sincronización que RZ pero con dos valores de amplitud.

> En la codificación Manchester, la transición en mitad de cada bit se usa tanto para sincronización como para representación de bit.

Manchester diferencial. En la codificación Manchester diferencial, la inversión en la mitad del intervalo de bit se usa para sincronización, pero la presencia o ausencia de una transición adicional al principio de cada intervalo se usa para identificar el bit. Una transición significa un 0 binario, mientras que la ausencia de transición significa un 1 binario. El método Manchester diferencial necesita dos cambios de señal para representar el 0 binario, pero solamente uno para representar el 1 binario.

> En la codificación Manchester diferencial, la transición en mitad del bit es usada únicamente para sincronización. La representación del bit se lleva a cabo por la existencia de inversión o no al principio del bit.

La Figura 5.8 muestra las señales Manchester y Manchester diferencial para el mismo patrón de bits.

Bipolar

La codificación bipolar, como la RZ, usa tres niveles de voltaje: positivo, negativo y cero. Sin embargo, a diferencia de la RZ, el nivel cero se usa en la codificación bipolar para representar el 0 binario.

Los unos se representan alternando voltajes positivos y negativos. Si el primer bit 1 se representa con una amplitud positiva, el segundo se representará con una amplitud negativa,

Figura 5.8. *Codificación Manchester y Manchester diferencial.*

el tercero con una amplitud positiva, etc. Esta alternancia ocurre incluso cuando los bits uno no son consecutivos.

En la codificación bipolar se usan tres niveles: positivo, cero y negativo.

Hay tres tipos de codificación bipolar que son populares en la industria de transmisión de datos: AMI, B8ZS y HDB3 (véase la Figura 5.9).

Bipolar con Inversión de marca alternada (AMI)

La **Bipolar con inversión de marca alternada (AMI)** es la forma más sencilla de codificación bipolar. En el nombre *inversión de marca alternada,* la palabra *marca* viene de la telegrafía y significa 1. Por tanto, AMI significa inversión a 1 alterno. Un valor neutral, es decir, un voltaje 0, representa el 0 binario. Los unos binarios se representan alternando valores de voltaje positivos y negativos. La Figura 5.10 muestra un ejemplo.

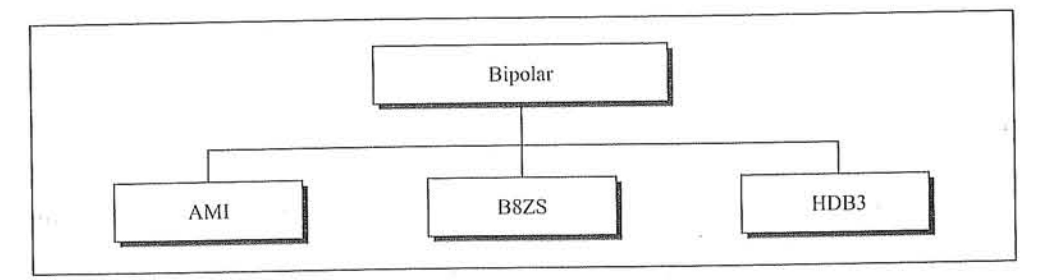


Figura 5.9. *Tipos de codificacción bipolar.*

Figura 5.10. *Codificación bipolar AMI.*

Existe una variación de la AMI bipolar, que se denomina **pseudoternaria,** en la que el 0 binario alterna entre valores positivos y negativos.

Invirtiendo la señal en cada ocurrencia de un 1, la AMI bipolar resuelve dos problemas: primero, el componente DC es cero y, segundo, una secuencia larga de unos permanece sincronizada. No hay mecanismo que asegure la sincronización de tiras largas de ceros.

Se han desarrollado dos variantes de AMI bipolar para resolver el problema de la sincronización de secuencias de ceros, especialmente para transmisiones a larga distancia. La primera, usada en Norteamérica, se denomina **bipolar con sustitución de 8 ceros (B8ZS).** La segunda, usada en Europa y Japón, se denomina **bipolar 3 de alta densidad (HDB3).** Ambas son adaptaciones de la AMI bipolar que modifican el patrón original solamente en el caso de que haya múltiples ceros consecutivos.

Bipolar con sustitución de 8 ceros (B8ZS)

B8ZS es la convención adoptada en Norteamérica para proporcionar sincronización de secuencias largas de ceros. En la mayoría de los casos, B8ZS funciona de forma idéntica a AMI bipolar. AMI bipolar cambia polos cada vez que encuentra un 1. Estos cambios proporcionan la sincronización necesaria en el receptor. Pero la señal no cambia durante las cadenas de ceros, por lo que a menudo la sincronización se pierde.

La diferencia entre B8ZS y la AMI bipolar se produce cuando se encuentran ocho o más ceros consecutivos dentro del flujo de datos. La solución provista por B8ZS es forzar cambios artificiales de señal, denominadas violaciones, dentro de la tira de ceros. Cada vez que hay una sucesión de ocho ceros, B8ZS introduce cambios en el patrón basados en la polaridad del 1 anterior (el 1 que ocurrió justo antes de los ceros). Véase la Figura 5.11.

Si el valor del 1 anterior era positivo, los ocho ceros se codificarán entonces como cero, cero, cero, positivo, negativo, cero, negativo, positivo. Recuerde que el receptor está buscando polaridades alternas para identificar unos. Cuando encuentra dos cargas positivas consecutivas alrededor de tres ceros, reconoce el patrón como una violación introducida deliberadamente y no como un error. A continuación busca el segundo par de violaciones esperadas. Cuando las encuentra, el receptor traduce los bits a ceros y vuelve otra vez al modo normal AMI bipolar.

Si la polaridad del 1 anterior es negativa, el patrón de la violación es el mismo, pero con polaridades inversas. Ambos patrones, positivo y negativo, se muestran en la Figura 5.11.

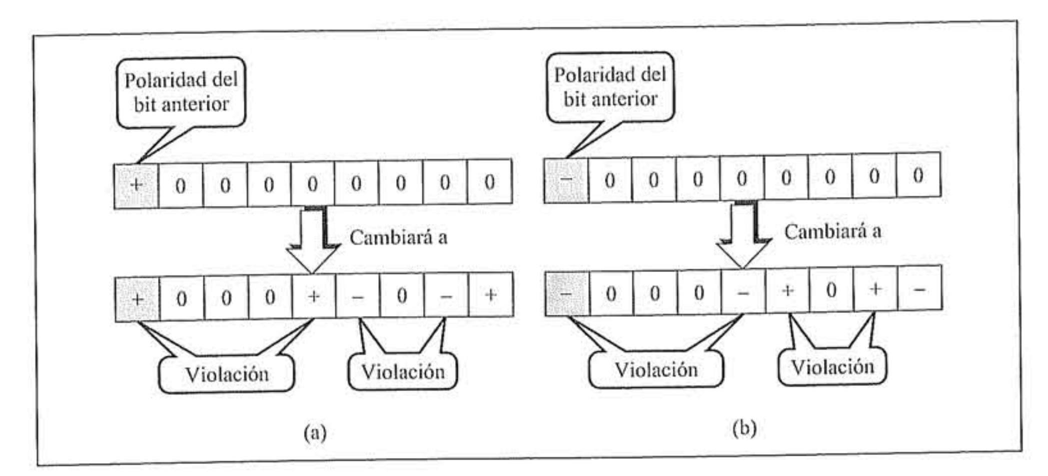


Figura 5.11. *Codificación B8ZS.*

> En B8ZS si vienen ocho ceros seguidos, se cambia el patrón en una de las dos formas basadas en la polaridad del 1 anterior.

Bipolar 3 de alta densidad (HDB3)

El problema de sincronizar ráfagas de ceros consecutivos se ha resuelto de forma diferente en Europa y Japón que en los Estados Unidos. Esta convención, denominada HDB3, introduce cambios dentro del patrón AMI bipolar cada vez que se encuentran cuatro ceros consecutivos en lugar de esperar por los ocho del método B8ZS usado en Norteamérica. Aunque el nombre es HDB3, el patrón cambia cada vez que se encuentra cuatro ceros seguidos (véase la Figura 5.12).

> En HDB3 si hay cuatro ceros seguidos, se cambia el patrón usando una de las cuatro formas basadas en la polaridad del 1 anterior y el número de unos desde la última sustitución.

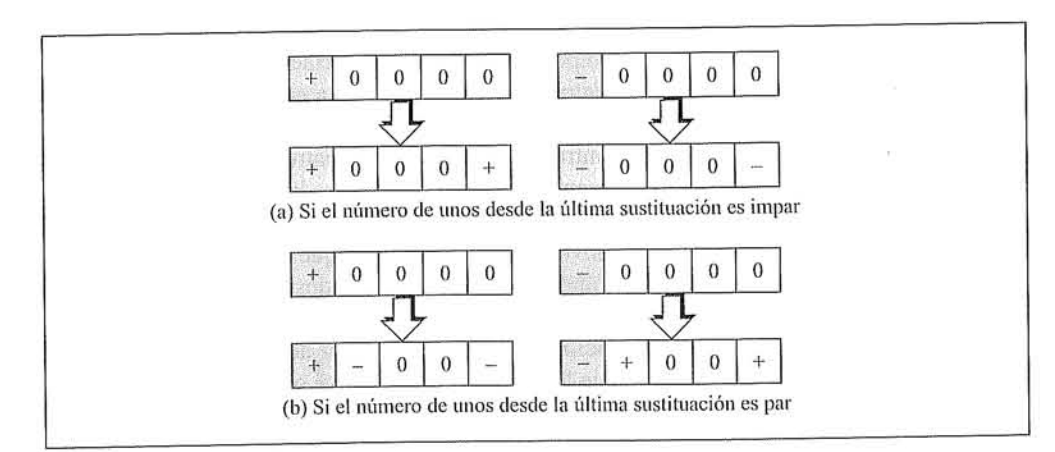


Figura 5.12. *Codificación HDB3.*

Al igual que en B8ZS, el patrón de violaciones en HDB3 se basa en la polaridad del bit 1 anterior. Pero a diferencia del B8ZS, HDB3 también mira el número de unos que se han producido en el flujo de bits desde la última sustitución. Si el número de unos desde la última sustitución es impar, HDB3 pone una violación en el lugar del cuarto 0 consecutivo. Si la polaridad del bit anterior era positiva, la violación es positiva. Si la polaridad del bit anterior era negativa, la polaridad es negativa.

Siempre que el número de unos de la última sustitución sea par, B8ZS coloca una violación en el lugar del primer y cuarto 0 consecutivo. Si la polaridad del bit anterior era positiva, ambas violaciones son negativas. Si la polaridad del bit anterior era negativa, ambas violaciones son positivas. Los cuatro patrones se muestran en la Figura 5.12.

Como se puede ver, la cuestión es violar el patrón estándar de forma que una máquina pueda reconocer las violaciones como deliberadas y usarlas para sincronizar el sistema.

Ejemplo 5.1

Codifique el flujo de bits 10000000000100 usando B8ZS. Asuma que la polaridad del primer 1 es positiva.

Solución

Vea la Figura 5.13

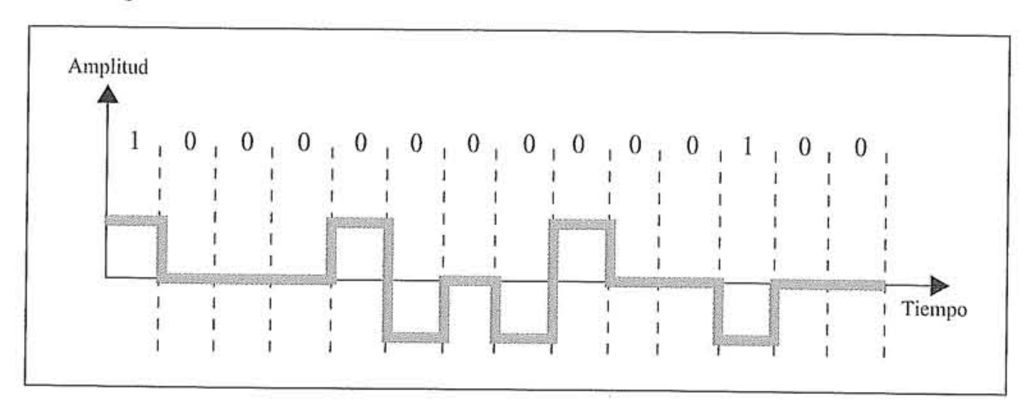


Figura 5.13. *Solución al Ejemplo 5.1.*

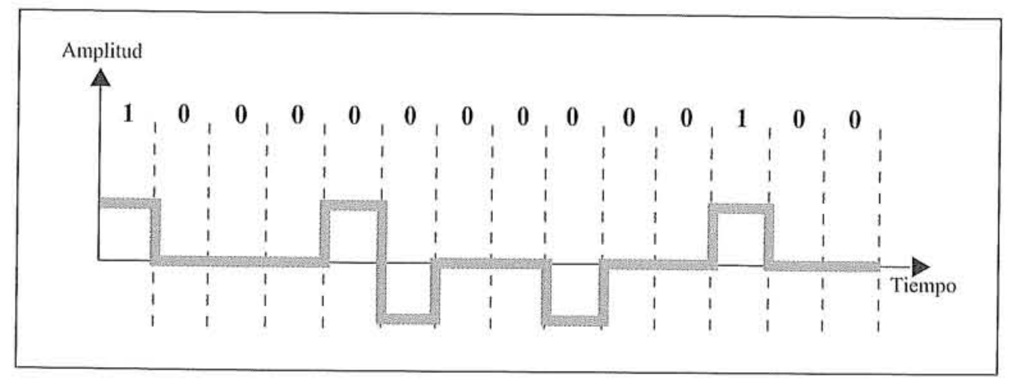


Figura 5.14. *Solución al Ejemplo 5.2.*

Ejemplo 5.2

Codifique el flujo de bits 10000000000100 usando HDB3. Asuma que el número de unos hasta ahora es impar y que el primero es positivo.

Solución

Vea la Figura 5.14

5.2. CONVERSION DE ANALÓGICO A DIGITAL

A veces es necesario digitalizar una señal analógica. Por ejemplo, para enviar la voz humana a larga distancia, es necesario digitalizarla puesto que las señales digitales son menos vulnerables al ruido. Esto se denomina **conversión de analógico a digital** o digitalización de una señal analógica. Para llevarla a cabo, es necesario efectuar una reducción del número de valores, potencialmente infinitos en un mensaje analógico, de forma que puedan ser representados como un flujo digital con una pérdida mínima de información. Hay varios métodos para efectuar la conversión de analógico a digital, algunos de los cuales se van a tratar en este Capítulo. La Figura 5.15 muestra un conversor de analógico a digital, denominado un *codec* (codificador-decodificador).

En la conversión de analógico a digital, se representa la información contenida en una onda continua como una serie de pulsos digitales (unos o ceros).

La conversión de analógico a digital puede hacer uso de cualquiera de las señales digitales tratadas en la Sección 5.1. La estructura de la señal de transporte no es el problema. En lugar de eso, el problema es cómo trasladar la información desde un número infinito de valores a un número discreto de valores sin perder sentido o calidad.

Modulación por amplitud de pulsos (PAM)

El primer paso en la conversión de analógico a digital se denomina Modulación por Amplitud de Pulsos (PAM). Esta técnica toma una señal analógica, la muestrea y genera una serie de pulsos basados en los resultados del muestreo. El término **muestreo** significa medir la amplitud de la señal en intervalos iguales.

El método de muestreo usado en PAM es más útil para otras series de ingenierías que para transmisión de datos. Sin embargo, PAM es el fundamento de un método de conversión de analógico a digital muy importante denominado **modulación por codificación en pulsos (PCM).**

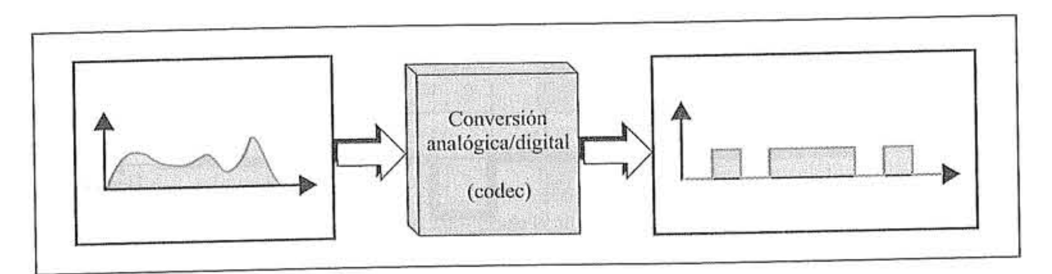


Figura 5.15. *Conversión de analógico a digital.*

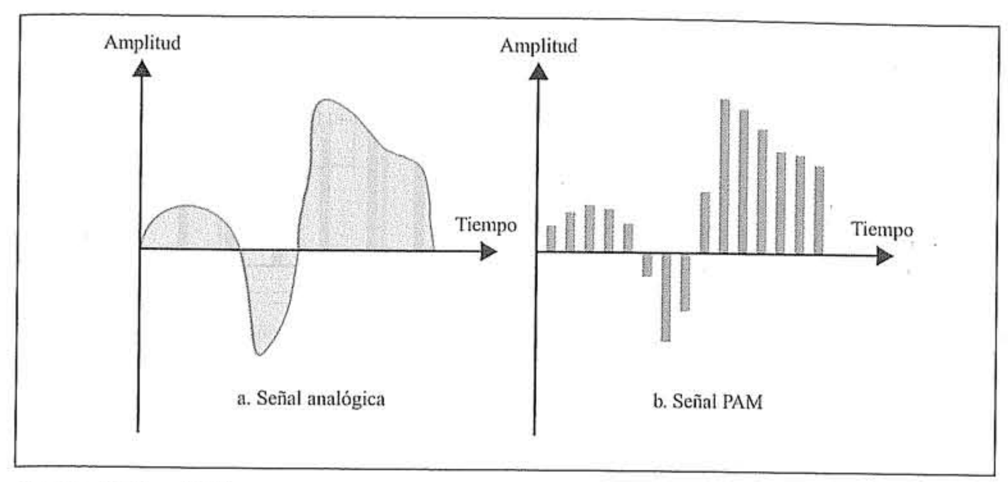


Figura 5.16. *PAM.*

En PAM, la señal original se muestrea en intervalos iguales de tiempo, como se muestra en la Figura 5.16. PAM usa una técnica denominada muestrear y retener. En un determinado momento, se lee el nivel de la señal y se mantiene brevemente. El valor muestreado ocurre únicamente de forma instantánea en la onda continua, pero se generaliza en el resultado PAM en un corto, pero que se puede medir, periodo de tiempo.

La razón de que PAM no sea útil para la transmisión de datos es que, aunque traduce la onda original en una serie de pulsos, estos pulsos todavía no tienen ninguna amplitud (son todavía una señal analógica, no digital). Para convertirlos en una señal digital, es necesario codificarlos usando la modulación por codificación en pulsos (PCM).

> La modulación por amplitud de pulsos (PAM) tiene algunas aplicaciones, pero no se usa en sí misma para transmisión de datos. Sin embargo, es el primer paso para otro método de conversión muy popular denominado modulación por codificación en pulsos (PCM).

Modulación por codificación en pulsos (PCM)

PCM modifica los pulsos creados por PAM para crear una señal completamente digital. Para hacerlo, PCM cuantifica primero los pulsos PAM. La cuantificación es el método para asignar valores integrales dentro de un rango específico de instancias muestreadas. El resultado de la cuantificación se presenta en la Figura 5.17.

La Figura 5.18 muestra un método sencillo para asignar valores de signo y magnitud a las muestras cuantificadas. Cada valor se traslada en su equivalente binario de siete bits. El octavo bit indica el signo.

A continuación se transforman los dígitos binarios en una señal digital usando alguna de las técnicas de codificación digital a digital. La Figura 5.19 muestra los resultados de la modulación código pulso de la señal original codificada finalmente dentro de una señal unipolar. Solamente se representan los tres primeros valores muestreados.

La PCM está realmente compuesta por cuatro procesos distintos: PAM, cuantificación, cuantificación binaria y codificación digital a digital. La Figura 5.20 muestra todo el proce-

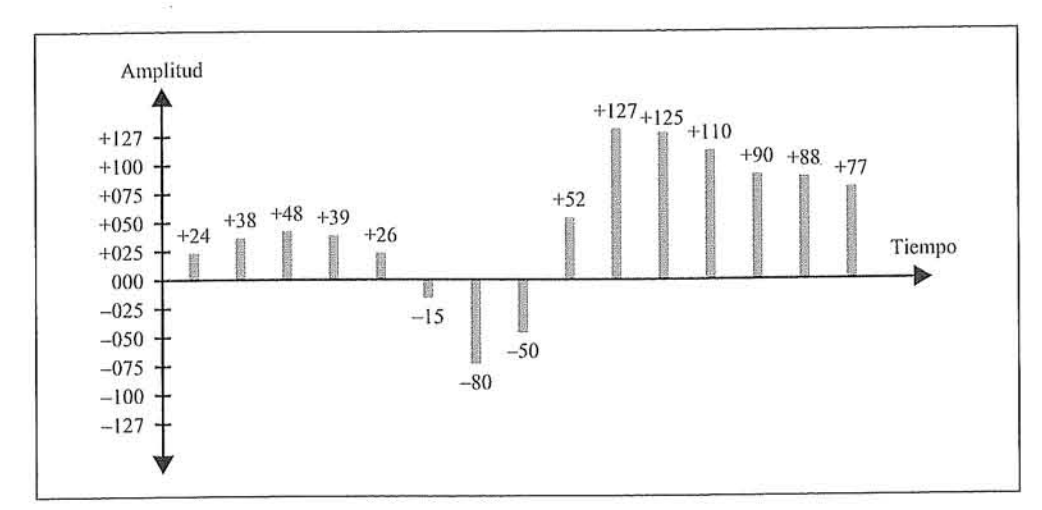
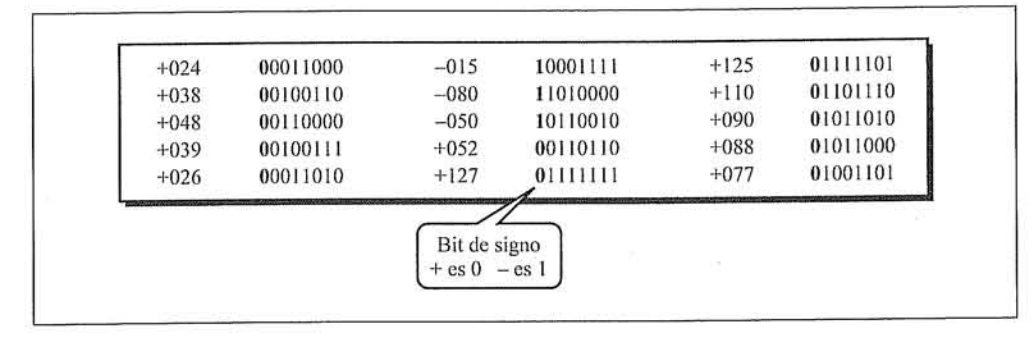


Figura 5.17. *Señal PAM cuantificada.*



+024	00011000	−015	10001111	+125	01111101
+038	00100110	−080	11010000	+110	01101110
+048	00110000	−050	10110010	+090	01011010
+039	00100111	+052	00110110	+088	01011000
+026	00011010	+127	01111111	+077	01001101

Figura 5.18. *Cuantificación usando signo y magnitud.*

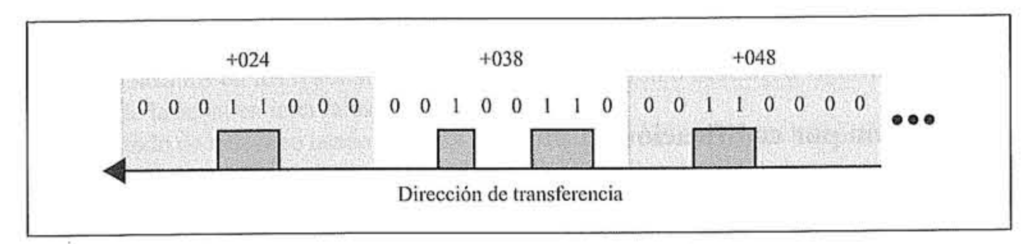


Figura 5.19. *PCM.*

so en forma gráfica. PCM es el método de muestreo usado para digitalizar voz en las líneas de transmisión T del sistema de telecomunicaciones norteamericano (véase el Capítulo 8).

Frecuencia de muestreo

Como se puede adivinar por las figuras anteriores, la exactitud de cualquier reproducción digital de una señal analógica depende del número de muestras que se tomen. Usando PAM y PCM, se puede reproducir la forma de onda exactamente tomando un número infinito de muestras o

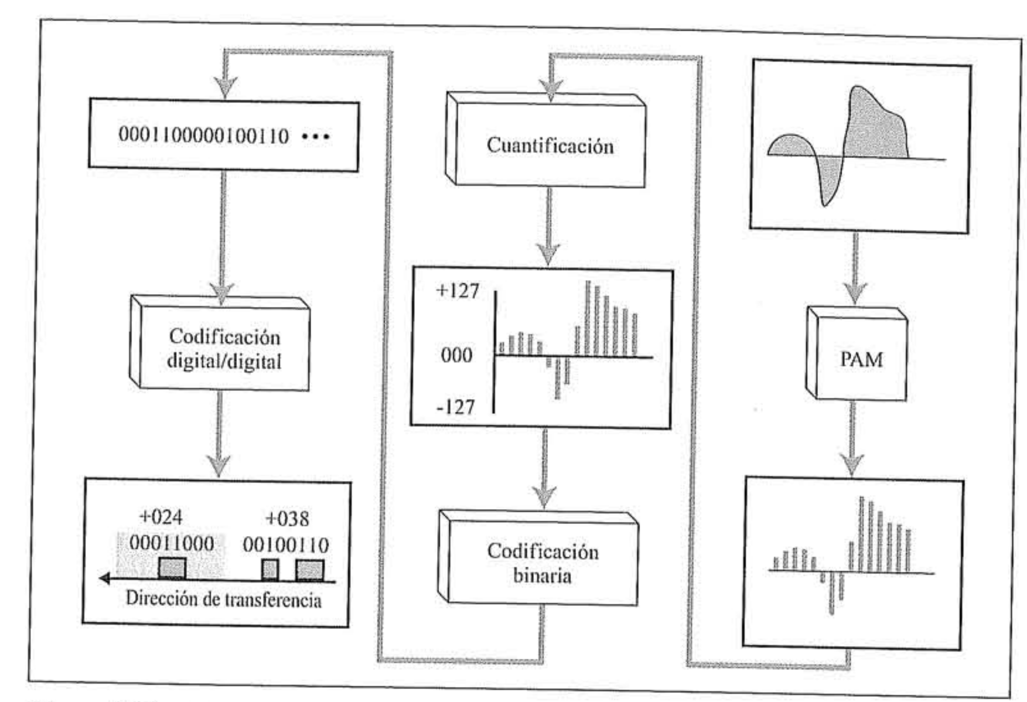


Figura 5.20. *De la señal analógica al código digital PCM.*

se puede reproducir una generalización aproximada de la dirección de cambio tomando solamente tres muestras. Obviamente, la solución preferible es tomar un cierto número de muestras entre los dos extremos. La cuestión que surge es: ¿cuántas muestras son suficientes?

Realmente, es necesaria muy poca información en el dispositivo receptor para reconstruir una señal analógica. De acuerdo con el **teorema de Nyquist,** para asegurar una reproducción exacta de una señal analógica utilizando PAM, la **tasa de muestreo** debería ser al menos dos veces mayor que la frecuencia más alta de la señal original. Por tanto, si se quiere muestrear voz telefónica con una frecuencia máxima de 4.000 Hz, es necesario muestrear a una tasa de muestreo de 8.000 muestras por segundo.

> De acuerdo con el teorema de Nyquist, la tasa de muestreo debe ser al menos el doble de la frecuencia más alta.

Una tasa de muestreo del doble de la frecuencia de x Hz indica que la señal se debe muestrear cada $1/2x$ segundos. Usando el ejemplo de la transmisión de voz sobre una línea de teléfono, esto significa que hay que muestrear una vez cada 1/8.000 segundos. La Figura 5.21 ilustra este concepto.

Ejemplo 5.3

¿Qué tasa de muestreo es necesaria para una señal con un ancho de banda de 10.000 Hz (1.000 a 11.000 Hz)?

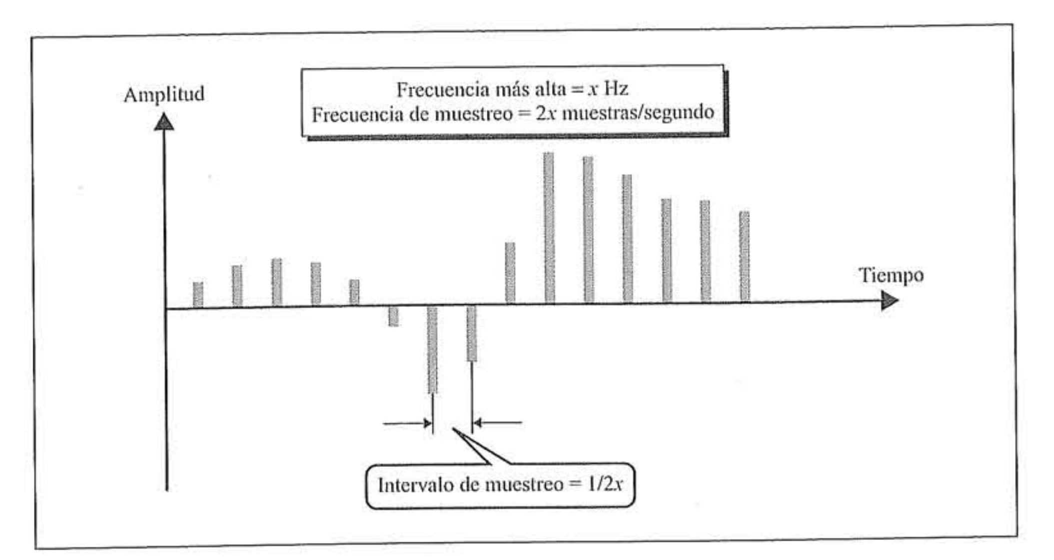


Figura 5.21. *Teorema de Nyquist.*

Solución

La tasa de muestreo debe ser dos veces la frecuencia más alta en la señal:

Tasa de muestreo igual = 2 × 11.000 = 22.000 muestras/segundo

¿Cuántos bits por muestra?

Después de que se haya encontrado la tasa de muestreo, es necesario determinar el número de bits que se van a transmitir con cada muestra. Esto depende del nivel de precisión que sea necesario. El número de bits se elige de forma que la señal original se pueda reproducir con la precisión deseada en amplitud.

Ejemplo 5.4

Se está muestreando una señal. Cada muestra necesita al menos 12 niveles de precisión (+0 a +5 y –0 a –5).

¿Cuántos bits se deberían enviar por cada muestra?

Solución

Se necesitan cuatro bits; un bit para el signo y tres bits para el valor. Un valor de tres bits permite representar $2^3 = 8$ niveles (000 a 111), lo que es más de lo que se necesita. Un valor con dos bits no es suficiente puesto que $2^2 = 4$. Un valor de cuatro bits es demasiado porque $2^4 = 16$.

Tasa de bits

Después de hallar el número de bits por muestra, se puede calcular la tasa de bits usando la fórmula siguiente:

Tasa de bits = Tasa de muestreo × Número de bits por muestra.

Ejemplo 5.5

Se quiere digitalizar la voz humana. ¿Cuál es la tasa de bits asumiendo ocho bits por muestra?

Solución

La voz humana normalmente contiene frecuencias entre los 0 y los 4.000 Hz. Por tanto, la tasa de muestreo es:

Tasa de muestreo = 4.000 × 2 = 8.000 muestras/segundo

La tasa de bits se puede calcular como:

Tasa de bits = Tasa de muestreo × Número de bits por muestra = 8.000 × 8 = 64.000 bits/s = 64 Kbps.

5.3. CONVERSIÓN DE DIGITAL A ANALÓGICO

La conversión de digital a analógico, o modulación de digital a analógico, es el proceso de cambiar una de las características de una señal de base analógica en información basada en una señal digital (ceros y unos). Por ejemplo, cuando se transmiten datos de una computadora a otra a través de una red telefónica pública, los datos originales son digitales, pero, debido a que los cables telefónicos transportan señales analógicas, es necesario convertir dichos datos. Los datos digitales deben ser modulados sobre una señal analógica que ha sido manipulada para aparecer como dos valores distintos correspondientes al 0 y al 1 binario. La Figura 5.22 muestra la relación entre la información digital, el *hardware* de modulación de digital a analógico y el valor de la señal analógica resultante.

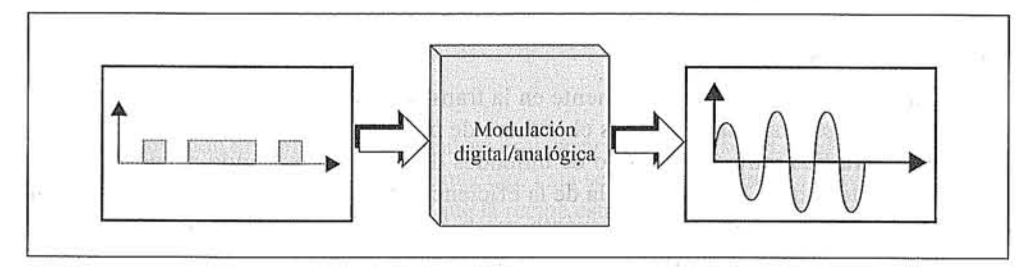


Figura 5.22. *Modulación de digital a analógico.*

De los muchos mecanismos existentes para la modulación de digital a analógico se van a tratar únicamente los más útiles para la transmisión de datos.

Como se vio en el Capítulo 4, una onda seno se define por tres características: **amplitud, frecuencia** y **fase.** Cuando se cambian cualquiera de estas características, se crea una segunda versión de esta onda. Si se dice entonces que la onda original representa el 1 binario, la variación puede representar el 0 binario, o viceversa. Por tanto, cambiando el aspecto de una señal eléctrica sencilla hacia delante y hacia atrás, puede servir para representar datos digitales. Cualquiera de las tres características citadas puede alterarse de esta forma, dándonos al menos tres mecanismos para modular datos digitales en señales analógicas: *Modulación por desplazamiento de amplitud* (ASK), *Modulación por desplazamiento de frecuencia* (FSK) y

Figura 5.23. *Tipos de modulación de digital a analógico.*

Modulación por desplazamiento de fase (PSK). Además, hay un cuarto mecanismo (y mejor) que combina cambios en fase y amplitud y que se denomina *modulación de amplitud en cuadratura* (QAM). QAM es la más eficiente de estas opciones y es el mecanismo que se usa en todos los módems modernos (véase la Figura 5.23).

Aspectos de la conversión de digital a analógico

Antes de discutir los métodos específicos de la modulación digital a analógica, hay que definir dos aspectos básicos: tasa de bit/baudio y señal portadora.

Tasa de bits y tasa de baudios

Dos términos que se usan frecuentemente en la transmisión de datos son la *tasa de bits* y la *tasa de baudios*. La **tasa de bits** es el número de bits transmitidos durante un segundo. La **tasa de baudios** indica el número de unidades de señal por segundo necesarias para representar estos bits. Cuando se habla de la eficiencia de las computadoras, la tasa de bit es lo más importante; se quiere saber cuánto cuesta procesar cada pieza de la información. Sin embargo, en la transmisión de datos es más importante conocer la eficiencia con que se puede mover los datos de un lado para otro, tanto en piezas como en bloques. Cuantas menos unidades de señal sean necesarias, más eficiente será el sistema y menor será el ancho de banda para transmitir más bits; por tanto, es más importante lo concerniente a la tasa de baudios. La tasa de baudios determina el ancho de banda necesario para enviar la señal.

La tasa de bits es igual a la tasa de baudios por el número de bits representados para cada unidad de señal. La tasa de baudios es igual a la tasa de bits dividida por el número de bits representados por cada desplazamiento de la señal. La tasa de bits siempre es mayor o igual que la tasa de baudios.

> La tasa de bits es el número de bits por segundo. La tasa de baudios es el número de unidades de señal por segundo. La tasa de baudios es menor o igual que la tasa de bits.

Una analogía puede clarificar los conceptos de baudio y de bit. En transporte, un baudio es análogo a un coche mientras que un bit es análogo a un pasajero. Un coche puede llevar uno o más pasajeros. Si 1.000 coches van desde un lugar a otro llevando cada uno un pasajero (el conductor), entonces han transportado 1.000 pasajeros. Sin embargo, si cada coche lleva cuatro pasajeros (se comparten los coches), entonces se han transportado 4.000 pasajeros. Observe que el número de coches, no el número de pasajeros, determina el tráfico y, por tanto, las necesidades de autopistas más grandes. Similarmente, el número de baudios determina el ancho de banda necesario, no el número de bits.

Ejemplo 5.6

Una señal analógica transporta cuatro bits en cada señal elemental. Si se envían 1.000 elementos de señal por segundo, calcule la tasa de baudios y la tasa de bits.

Solución

Tasa de baudios = Número de elementos de señal = 1.000 baudios por segundo

Tasa de bits = Tasa de baudios × Número de bits por elementos de señal = 1.000 × 4 = = 4.000 bps.

Ejemplo 5.7

La tasa de bits de la señal es 3.000. Si cada elemento de señal transporta 6 bits, ¿cuál es la tasa de baudio?

Solución

Tasa de baudios = Tasa de bits / Número de bits por elemento señal = 3.000 / 6 = 500 baudios por segundo.

Señal portadora

En la transmisión analógica, el dispositivo emisor produce una señal de alta frecuencia que actúa como base para la señal de información. Esta señal base se denomina **señal portadora** o frecuencia portadora. El dispositivo que la recibe está ajustado para la frecuencia de la señal portadora que espera del emisor. La información digital se modula sobre la señal portadora modificando una o más de sus características (amplitud, frecuencia, fase). Este tipo de modificación se denomina modulación (o Modulación por desplazamiento) y la señal de información se denomina señal modulada.

Modulación por desplazamiento de amplitud (ASK)

En la **Modulación por desplazamiento de amplitud (ASK,** *Amplitude Shift Keying*), la potencia de la señal portadora se cambia para representar el 1 o 0 binario. Tanto la frecuencia como la fase permanecen constantes mientras que la amplitud cambia. Qué voltaje representa el 1 y qué voltaje representa el 0 se deja para los diseñadores del sistema. La duración del bit es el periodo de tiempo que define un bit. La amplitud pico de la señal durante cada duración del bit es constante y su valor depende del bit (0 o 1). La velocidad de transmisión usando ASK está limitada por las características físicas del medio de transmisión. La Figura 5.24 muestra una visión conceptual del ASK.

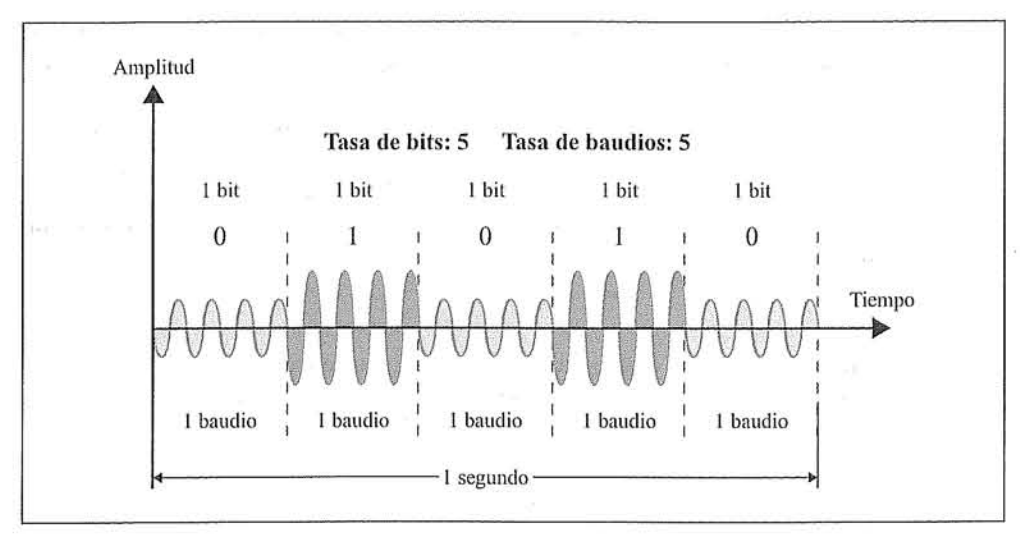


Figura 5.24. *ASK.*

Por desgracia, la transmisión ASK es altamente susceptible a la interferencia por ruidos. El término *ruido* se refiere a los voltajes no intencionales introducidos dentro de una línea por fenómenos variados tales como el calor o la inducción electromagnética creada por otras fuentes. Estos voltajes no intencionales se combinan con la señal y cambian su amplitud. Un 0 se puede cambiar a un 1 y un 1 a un 0. Ya se puede ver que el ruido es especialmente problemático para ASK, que confía únicamente en la amplitud para el reconocimiento. Habitualmente el ruido afecta a la amplitud; por tanto, ASK es el método de modulación más afectado por el ruido.

Una técnica popular de tipo ASK es la denominada *on-off* (OOK). En OOK uno de los valores de bit se representa por la inexistencia de voltaje. La ventaja es una reducción en la cantidad de energía necesaria para transmitir la información.

Ancho de banda de ASK

Como recordará del Capítulo 4, el ancho de banda de una señal es el rango total de frecuencias ocupadas por esa señal. Cuando se descompone una señal modulada con ASK, se obtiene un espectro de muchas frecuencias simples. Sin embargo, las más significativas son aquellas entre $f_c - N_{baudio}/2$ y $f_c + N_{baudio}/2$ con la frecuencia de la portadora, f_c en el centro (véase la Figura 5.25).

Los requisitos de ancho de banda para ASK se calculan usando la fórmula:

$$BW = (1 + d) \times N_{baudio}$$

donde

BW es el ancho de banda

N_{baudio} es la tasa de baudios

d es un factor relacionado con la condición de la línea (con un valor mínimo de 0)

Como se puede ver, el ancho de banda mínimo necesario para la transmisión es igual a la tasa de baudios.

Aunque hay únicamente una frecuencia portadora, el proceso de modulación produce una señal compleja que es una combinación de muchas señales sencillas, cada una de las cuales tiene una frecuencia distinta.

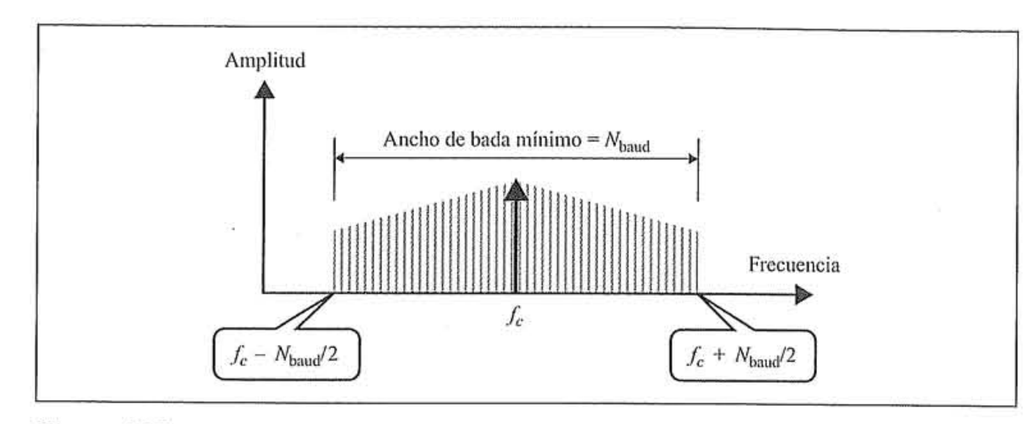


Figura 5.25. *Relación entre la tasa de baudios y ancho de banda en ASK.*

Ejemplo 5.8

Encuentre el ancho de banda mínimo para una señal ASK que transmite 2.000 bps. El modo de transmisión es semidúplex.

Solución

En ASK la tasa de baudios y la tasa de bits son la misma. La tasa de baudios, por tanto, es 2.000. Una señal ASK necesita un ancho de banda mínimo igual a la tasa de baudios. Por tanto, el ancho de banda mínimo es 2.000 Hz.

Ejemplo 5.9

Dado un ancho de banda de 5.000 Hz para una señal ASK, ¿cuál es la tasa de baudios y la tasa de bits?

Solución

En ASK la tasa de baudios es la misma que el ancho de banda, lo que significa que la tasa de baudios es 5.000. Pero, debido a que la tasa de baudios y la tasa de bits son también la misma en ASK, la tasa de bits es 5.000 bps.

Ejemplo 5.10

Dado un ancho de banda de 10.000 Hz (1.000 a 11.000 Hz), dibuje un diagrama ASK *full-dúplex* del sistema. Encuentre las portadoras y los anchos de banda en cada dirección. Asuma que no hay intervalo entre las bandas de ambas direcciones.

Solución

Para ASK *full-dúplex*, el ancho de banda en cada dirección es

$$BW = 10.000/2 = 5.000 \text{ Hz}$$

Las frecuencias de las portadoras se pueden elegir en la mitad de cada banda (*véase* la Figura 5.26).

$$f_{c(\text{adelante})} = 1.000 + 5.000/2 = 3.500 \text{ Hz}$$
$$f_{c(\text{atrás})} = 11.000 - 5.000/2 = 8.500 \text{ Hz}$$

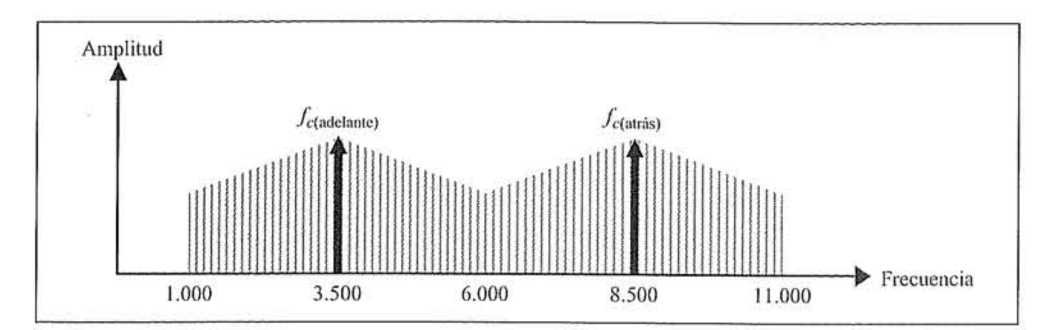


Figura 5.26. *Solución al Ejemplo 5.10.*

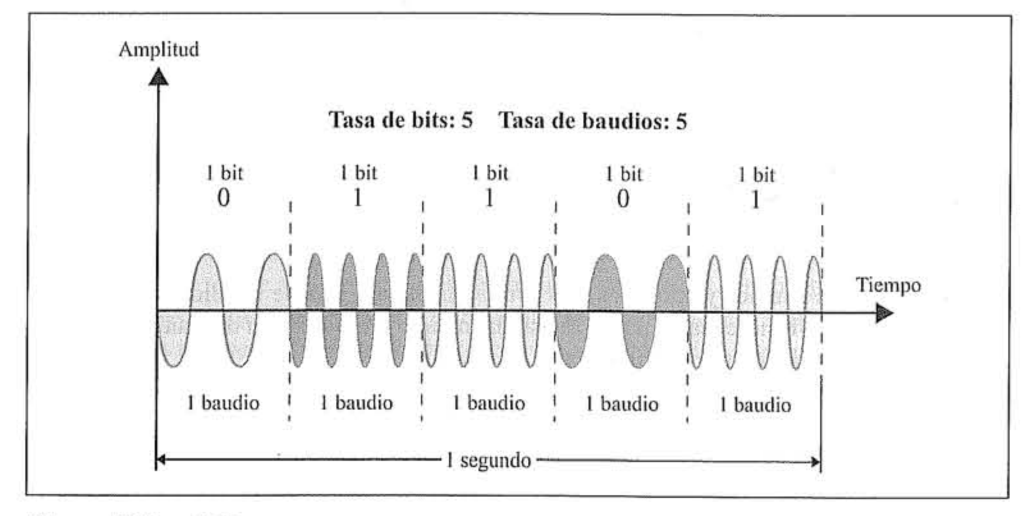


Figura 5.27. *FSK.*

Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK)

En la **modulación por desplazamiento de frecuencia** (**FSK,** *Frequency Shift Keying*), la frecuencia de la señal portadora cambia para representar el 1 y el 0 binario. La frecuencia de la señal durante la duración del bit es constante y su valor depende de un bit (0 o 1): tanto la amplitud de pico como la fase permanecen constantes. La Figura 5.27 muestra una visión conceptual de FSK.

FSK evita la mayor parte de los problemas de ruidos de ASK. Debido a que el dispositivo receptor está buscando cambios específicos de frecuencia en un cierto número de periodos, puede ignorar los picos de voltaje. Los factores que limitan la FSK son las capacidades físicas de la portadora.

Ancho de banda para FSK

Aunque FSK cambia entre dos frecuencias portadoras, es fácil analizar como dos frecuencias coexistentes. Se puede decir que el espectro de FSK es la combinación de dos espectros ASK centrados alrededor de f_{c0} y f_{c1}. El ancho de banda necesario para la transmisión con FSK es igual a la tasa de baudios de la señal más el desplazamiento de frecuencia (diferencia entre las dos frecuencias de las portadoras): $BW = (f_{c1} - f_{c0}) + N_{baudios}$. Véase la Figura 5.28.

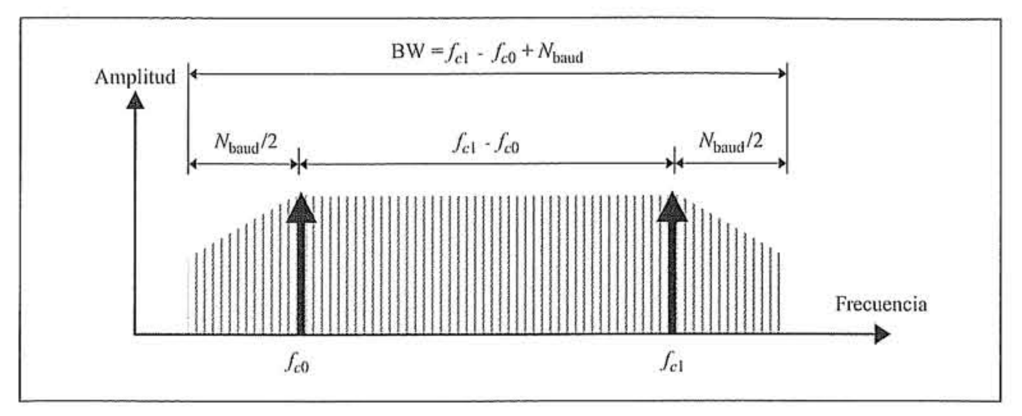


Figura 5.28. *Relación entre tasa de baudios y ancho de banda en FSK.*

Aunque hay dos frecuencias portadoras, el proceso de modulación produce una señal compuesta que es una combinación de muchas señales simples, cada una con una frecuencia distinta.

Ejemplo 5.11

Encuentre el ancho de banda máximo para una señal FSK que se transmite a 2.000 bps. La transmisión es en modo semidúplex y las portadoras deben estar separadas por 3.000 Hz.

Solución

Para FSK, si f_{c1} y f_{c0} son las frecuencias portadoras, entonces

$$BW = \text{Tasa de baudios} + (f_{c1} - f_{c0})$$

Sin embargo, la tasa de baudios es la misma que la tasa de bits. Por tanto,

$$BW = \text{Tasa de bits} + (f_{c1} - f_{c0}) = 2.000 + 3.000 = 5.000 \text{ Hz}$$

Ejemplo 5.12

Encuentre la máxima tasa de bits de una señal FSK si el ancho de banda del medio es 12.000 Hz y la diferencia entre las dos portadoras debe ser al menos 2.000 Hz. La transmisión se lleva a cabo en modo *full-dúplex*.

Solución

Debido a que la transmisión es en modo full-dúplex, sólo se asignan 6.000 Hz para cada dirección. Para FSK, si f_{c1} y f_{c0} son las frecuencias portadoras,

$$BW = \text{Tasa de baudios} + (f_{c1} - f_{c0})$$

$$\text{Tasa de baudios} = BW - (f_{c1} - f_{c0}) = 6.000 - 2.000 = 4.000 \text{ Hz}$$

Pero, debido a que la tasa de baudios es la misma que la tasa de bits, la tasa de bits es 4.000 bps.

Modulación por desplazamiento de fase (PSK)

En la **modulación por desplazamiento de fase** (*PSK, Phase Shift Keying*), la fase de la portadora cambia para representar el 1 o el 0 binario. Tanto la amplitud de pico como la frecuencia

Figura 5.29. *PSK.*

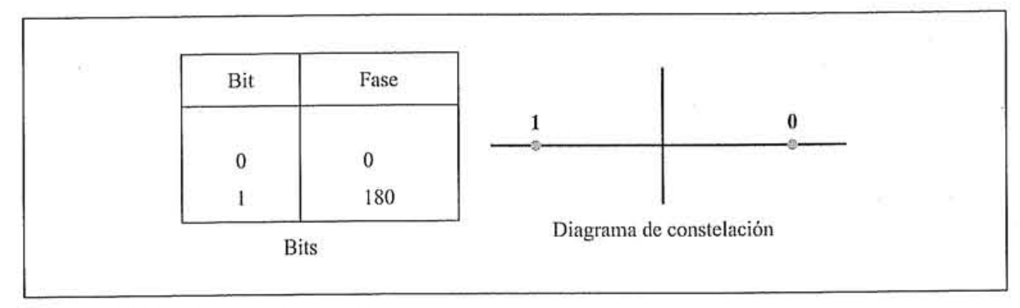


Figura 5.30. *Constelación PSK.*

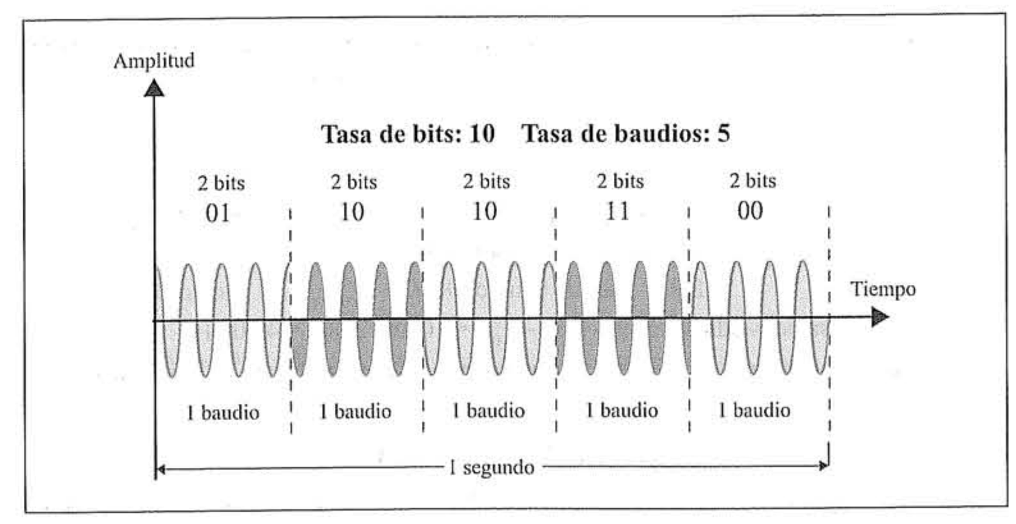


Figura 5.31. *4-PSK.*

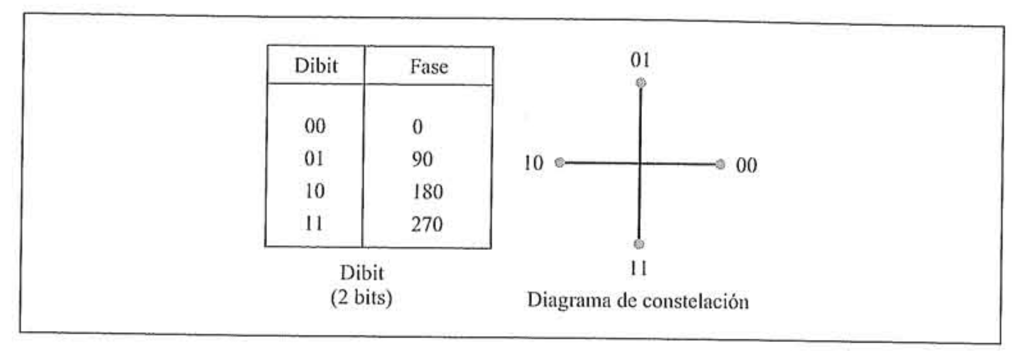


Figura 5.32. *Características del 4-PSK.*

permanecen constantes mientras la fase cambia. Por ejemplo, si se comienza con una fase de 0 grados para representar un 0 binario, se puede cambiar la fase a 180 grados para enviar un 1 binario. La fase de la señal durante la duración de cada bit es constante y su valor depende del bit (0 o 1). La Figura 5.29 da una visión conceptual de PSK.

El método anterior se denomina a menudo 2-PSK, o PSK binario, debido a que se usan dos fases distintas (0 y 180 grados). La Figura 5.30 aclara este punto mostrando la relación entre la fase y el valor binario. Un segundo diagrama, denominado una **constelación** o diagrama fase-estado, muestra la misma relación ilustrando solamente las fases.

PSK no es susceptible a la degradación por ruido que afecta a ASK ni a las limitaciones de banda de FSK. Esto significa que pequeñas variaciones en la señal se pueden detectar fiablemente en el receptor. Además, en lugar de utilizar solamente dos variaciones de una señal, cada una representando un bit, se pueden utilizar cuatro variaciones y dejar que cada **desplazamiento de fase** represente dos bits (véase la Figura 5.31).

El diagrama de constelación para la señal de la Figura 5.31 se muestra en la Figura 5.32. Una fase de 0 grados representa ahora 00, 90 grados representa 01, 180 grados representa 10 y 270 grados representa 11. Esta técnica se denomina 4-PSK o Q-PSK. El par de bits representados por cada fase se denomina **dibit.** Usando 4-PSK se puede transmitir datos dos veces más rápido que con 2-PSK.

Se puede extender esta idea hasta 8-PSK. En lugar de 90 grados se puede variar la señal en desplazamientos de 45 grados. Con ocho fases distintas, cada desplazamiento puede representar 3 bits (un **tribit**) al mismo tiempo. (Como se puede ver, la relación del número de bits por desplazamiento del número de fases es potencia de dos. Cuando hay cuatro fases posibles, se pueden enviar dos bits al mismo tiempo –2^2 es igual a 4. Cuando hay ocho fases posibles, se pueden enviar tres bits al mismo tiempo –2^3 es igual a 8.) La Figura 5.33 muestra la relación entre los desplazamientos de fase y los tribits que cada uno representa: 8-PSK es tres veces más rápido que 2-PSK.

Ancho de banda para PSK

El ancho de banda mínimo necesario para transmisión PSK es el mismo que el que se necesita para la transmisión ASK, y por las mismas razones. Como ya hemos visto, la máxima tasa de bits en transmisión PSK es, sin embargo, potencialmente mucho mayor que la de ASK. Por tanto, mientras que la máxima tasa de baudios de ASK y PSK son las mismas para un ancho de banda determinado, la tasa de bits con PSK, usando el mismo ancho de banda, puede ser dos o más veces mayor (véase la Figura 5.34).

Tribit	Fase
000	0
001	45
010	90
011	135
100	180
101	225
110	270
111	315

Tribits
(3 bits)

010
011
001
100
000
101
111
110
Diagrama de constelación

Figura 5.33. *Características del 8-PSK.*

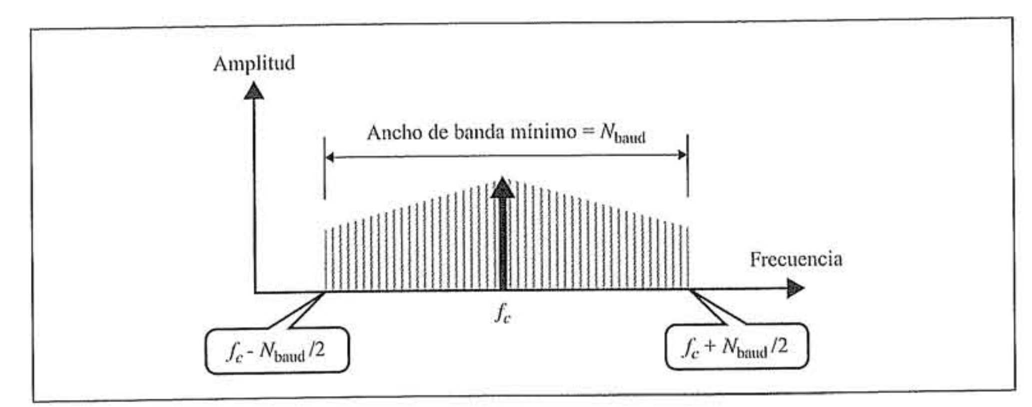


Figura 5.34. *Relación entre ancho de banda y tasa de baudios en PSK.*

Ejemplo 5.13

Determine el ancho de banda de una señal 4-PSK transmitiendo a 2.000 bps. La transmisión se lleva a cabo en modo semidúplex.

Solución

Para 4-PSK la tasa de baudios es la mitad de la tasa de bits. La tasa de baudios es, por tanto, 1.000. Una señal PSK necesita un ancho de banda igual a su tasa de baudios. Por consiguiente, el ancho de banda es 1.000 Hz.

Ejemplo 5.14

Dado un ancho de banda de 5.000 Hz para una señal 8-PSK, ¿cuáles son la tasa de baudios y la tasa de bits?

Solución

Para PSK la tasa de baudios es la misma que el ancho de banda, lo que significa que el ancho de banda es 5.000. Pero en 8-PSK la tasa de bits es tres veces más grande que la tasa de baudios, por lo que la tasa de bits es 15.000 bps.

Modulación de amplitud en cuadratura (QAM)

PSK está limitado por la habilidad de los equipos de distinguir pequeñas diferencias en fase. Este factor limita su tasa de bits potencial.

Hasta ahora, se han ido alterando únicamente las tres características de una onda seno una cada vez, pero ¿qué pasa si se alteran dos? Las limitaciones del ancho de banda hacen que las combinaciones de FSK con otros cambios sean prácticamente inútiles. Pero ¿por qué no combinar ASK y PSK? En ese caso se podrían tener x variaciones en fase e y variaciones en amplitud, dándonos x veces y posibles variaciones y el número correspondiente de bits por variación. La **modulación de amplitud en cuadratura (QAM)** hace justamente eso. El término *cuadratura* se deriva de las restricciones necesarias para el rendimiento mínimo y está relacionado con la trigonometría.

> La modulación de amplitud en cuadratura (QAM) significa combinar ASK y PSK de tal forma que haya un contraste máximo entre cada bit, dibit, tribit, quadbit, etc.

Las variaciones posibles de QAM son numerosas. Teóricamente, cualquier valor medible de cambios en amplitud se puede combinar con cualquier valor de cambios en fase. La Figura 5.35 muestra dos combinaciones posibles, 4-QAM y 8-QAM. En ambos casos, el número de desplazamientos de amplitud es menor que el número de desplazamientos de fase. Debido a que los cambios de amplitud son susceptibles al ruido y requieren diferencias en el desplazamiento de lo que necesitan los cambios en fase, el número de desplazamientos en fase usados en un sistema QAM es siempre mayor que el número de desplazamientos en amplitud. La traza en el dominio del tiempo correspondiente a la señal 8-QAM de la Figura 5.35 se muestra en la Figura 5.36.

También son posibles otras relaciones geométricas. En la Figura 5.37 se muestran tres configuraciones populares de 16-QAM. El primer ejemplo, tres amplitudes y 12 fases, maneja el ruido mejor debido a una mayor proporción del desplazamiento de fase a la amplitud. Esta es la recomendación de ITU-T. El segundo ejemplo, cuatro amplitudes y 8 fases, es la recomendación de OSI. Si se examina el gráfico cuidadosamente, se podrá observar que, aunque se basa en círculos concéntricos, no se usan todas las intersecciones de la fase con la amplitud. De hecho, 4 veces 8 permitirían hasta 32 variaciones posibles. Pero usando sólo la mitad de estas posibilidades, las diferencias medibles entre desplazamientos se incrementan y se

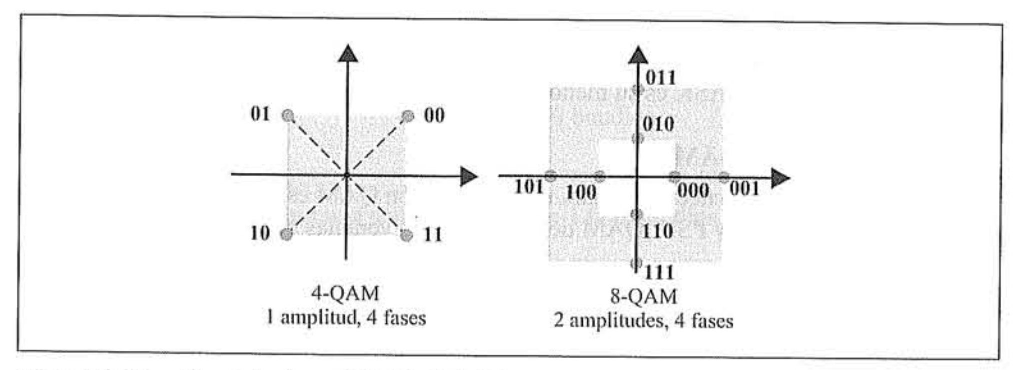


Figura 5.35. *Constelaciones 4-QAM y 8-QAM*

Figura 5.36. *Dominio del tiempo para una señal 8-QAM.*

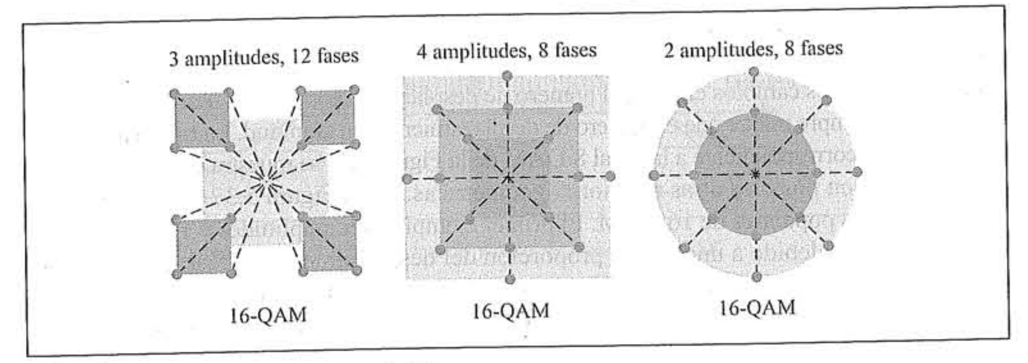


Figura 5.37. *Constelaciones 16-QAM.*

asegura una mayor legibilidad de la señal. Además, varios diseños QAM enlazan amplitudes específicas con fases específicas. Esto significa que, incluso con los problemas de ruido asociados con el desplazamiento en amplitud, el significado de un desplazamiento se pueda recuperar a partir de la información de fase. Por tanto, en general, se puede decir que una segunda ventaja de QAM sobre ASK es su menor susceptibilidad al ruido.

Ancho de banda para QAM

El ancho de banda mínimo necesario para una transmisión QAM es el mismo que es necesario para transmisión ASK y PSK. QAM tiene las mismas ventajas que PSK sobre ASK.

Comparación bit/baudio

Asumiendo que una señal FSK sobre líneas de teléfono de tipo voz puede enviar 1.200 bits por segundo, la tasa de bits es 1.200 bps. Cada desplazamiento de frecuencia representa un único

bit; por lo que necesita 1.200 elementos de señal para enviar 1.200 bits. Por tanto, su tasa de baudios es también 1.200 bps. Cada variación de la señal en un sistema 8-QAM representa, sin embargo, tres bits. Por tanto, una tasa de bits de 1.200 bps usando 8-QAM, tiene una tasa de baudios de sólo 400. Como muestra la Figura 5.38, un sistema dibit tiene una tasa de baudios que es la mitad de su tasa de bits, un sistema tribit tiene una tasa de baudios de un tercio de la tasa de bits y un sistema **quadbit** tiene una tasa de baudios de un cuarto de la tasa de bit.

La Tabla 5.1 muestra las tasas comparativas de bits y baudios para los distintos métodos de modulación de digital a analógico.

Tabla 5.1. *Comparación de tasas de bits y de baudios*

Modulación	*Unidades*	*Bits/Baudios*	*Tasa de Baudios*	*Tasa de Bits*
ASK, FSK, 2-PSK	Bit	1	N	N
4-PSK, 4-QAM	Dibit	2	N	$2N$
8-PSK, 8-QAM	Tribit	3	N	$3N$
16-QAM	Quadbit	4	N	$4N$
32-QAM	Pentabit	5	N	$5N$
64-QAM	Hexabit	6	N	$6N$
128-QAM	Septabit	7	N	$7N$
256-QAM	Octabit	8	N	$8N$

Ejemplo 5.15

Un diagrama de constelación está formado por ocho puntos igualmente espaciados sobre un círculo. Si la tasa de bits es 4.800 bps, ¿cuál es la tasa de baudios?

Solución

La constelación indica 8-PSK con los puntos separados 45 grados. Puesto que $2^3 = 8$, se transmiten tres bits con cada elemento señal. Además, la tasa de baudios es

$$4.800/3 = 1.600 \text{ baudios}$$

Ejemplo 5.16

Calcule la tasa de bits para una señal 16-QAM de 1.000 baudios.

Solución

Una señal 16-QAM significa que hay cuatro bits por elemento de señal, puesto que $2^4 = 16$. Así,

$$1.000 \times 4 = 4.000 \text{ bps}$$

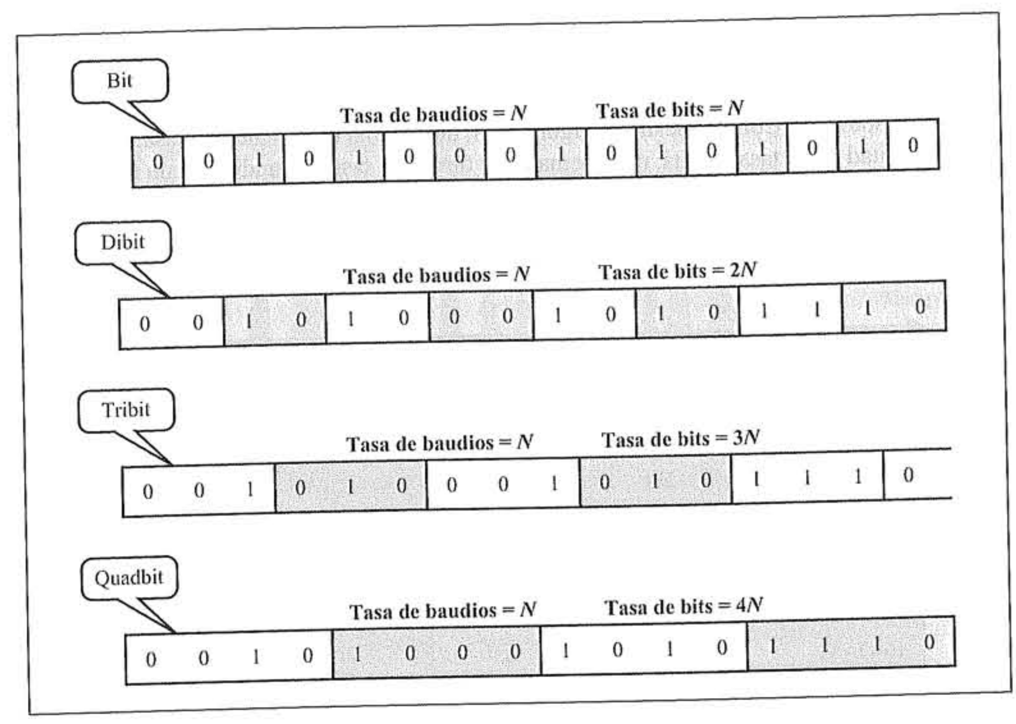


Figura 5.38. *Bit y baudio.*

Ejemplo 5.17

Calcule la tasa de baudios para una señal 64-QAM de 72.000 bps.

Solución

Una señal 64-QAM indica que hay 6 bits por elemento de señal, puesto que $2^6 = 64$. Así,

$$72.000/6 = 12.000 \text{ baudios}$$

5.4. CONVERSIÓN DE ANALÓGICO A ANALÓGICO

La conversión de analógico a analógico es la representación de información analógica mediante una señal analógica. La radio, esa utilidad familiar, es un ejemplo de una comunicación de analógico a analógico. La Figura 5.39 muestra la relación entre la información analógica, el conversor *hardware* de analógico a analógico y la señal analógica resultante.

La **modulación analógico a analógico** se puede conseguir de tres formas: **modulación en amplitud (AM), modulación en frecuencia (FM)** y **modulación en fase (PM).** Véase la Figura 5.40.

Modulación en amplitud (AM)

En transmisión AM (*Amplitude Modulation*), la señal portadora se modula de forma que su amplitud varíe con los cambios de amplitud de la señal modulada. La frecuencia y la fase de

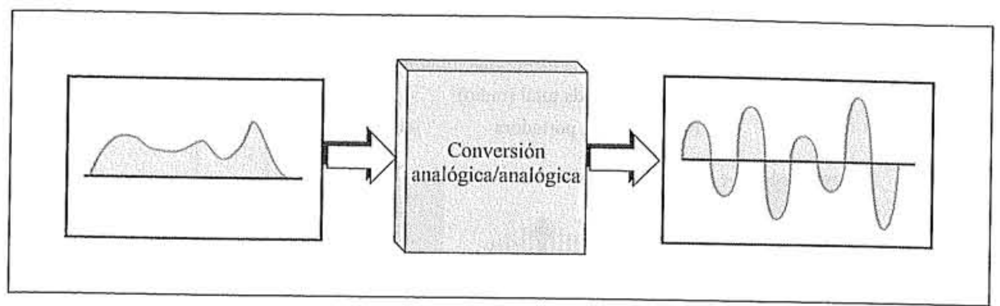


Figura 5.39. *Modulación de analógico a analógico.*

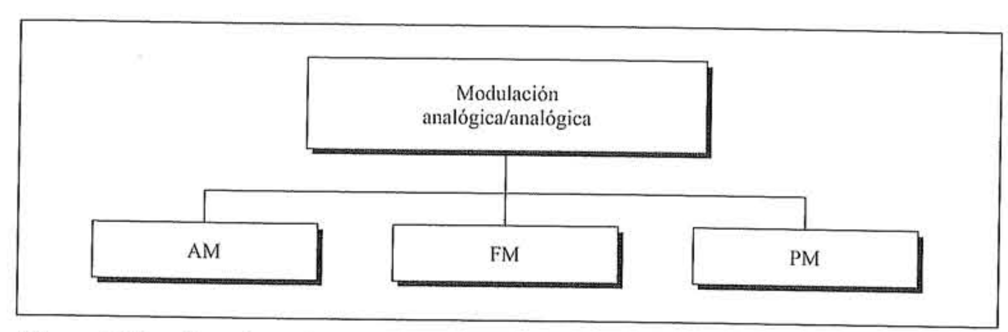


Figura 5.40. *Tipos de modulación de analógico a analógico.*

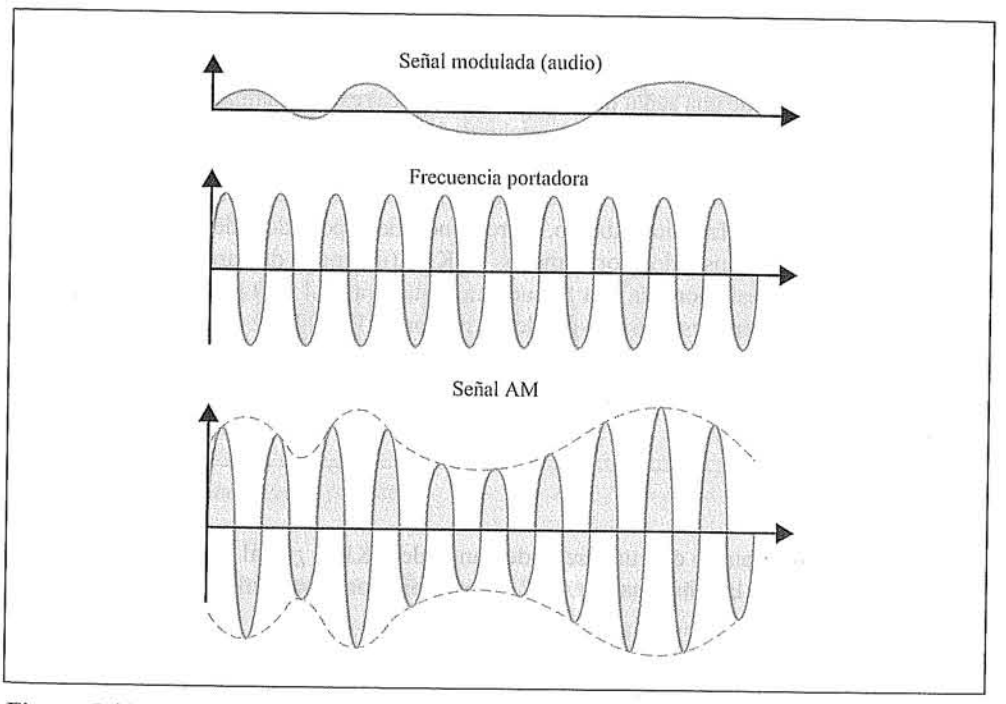


Figura 5.41. *Modulación en amplitud.*

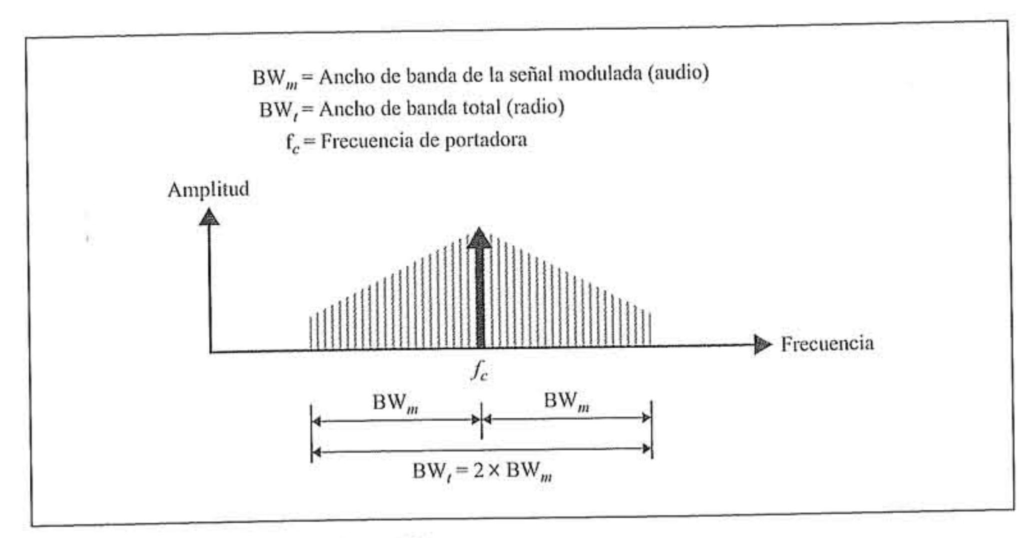


Figura 5.42. *Ancho de banda en AM.*

la portadora son siempre las mismas; solamente la amplitud cambia para seguir las variaciones en la información. La Figura 5.41 muestra cómo funciona este concepto. La señal modulada se convierte en una envoltura de la portadora.

Ancho de banda en AM

El ancho de banda de una señal AM es igual al doble del ancho de banda de la señal modulada y cubre un rango centrado alrededor de la frecuencia de la portadora (véase la Figura 5.42). La porción sombreada del gráfico es el espectro de frecuencia de la señal.

El ancho de banda de una señal de audio (voz y música) es habitualmente 5 KHz. Por tanto, una estación de radio AM necesita un ancho de banda mínimo de 10 KHz. De hecho, la Comisión de Comunicaciones Federales (FCC) permite 10 KHz para cada estación AM.

Las estaciones AM pueden tener frecuencia de portadora en el espectro de la banda entre 530 y 1.700 KHz (1,7 MHz). Sin embargo, la frecuencia de la portadora de cada estación debe estar separada de las de sus lados por al menos 10 KHz (un ancho de banda AM) para evitar interferencias. Si una estación usa una frecuencia portadora de 1.100 KHz, la frecuencia de la portadora de la siguiente estación no puede ser menor de 1.110 KHz (véase la Figura 5.43).

> El ancho de banda total necesario para AM se puede determinar a partir del ancho de banda de una señal de audio: $BW_t = 2 \times BW_m$.

Ejemplo 5.18

Se tiene una señal de audio con un ancho de banda de 4 KHz. ¿Cuál es el ancho de banda necesario si se modula la señal usando AM? Ignore por ahora las regulaciones de la FCC.

Solución

Una señal AM necesita dos veces el ancho de banda de la señal original:

$$BW = 2 \times 4 \text{ KHz} = 8 \text{ KHz}$$

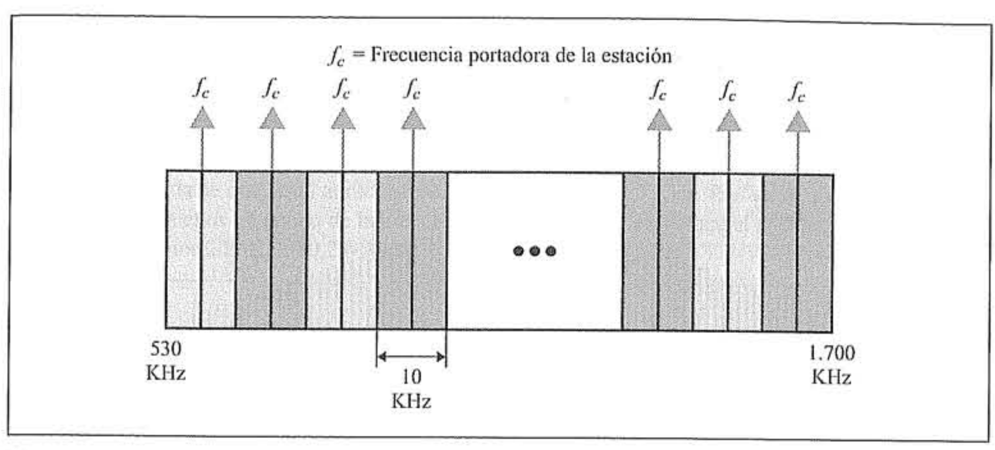


Figura 5.43. *Asignación de banda en AM.*

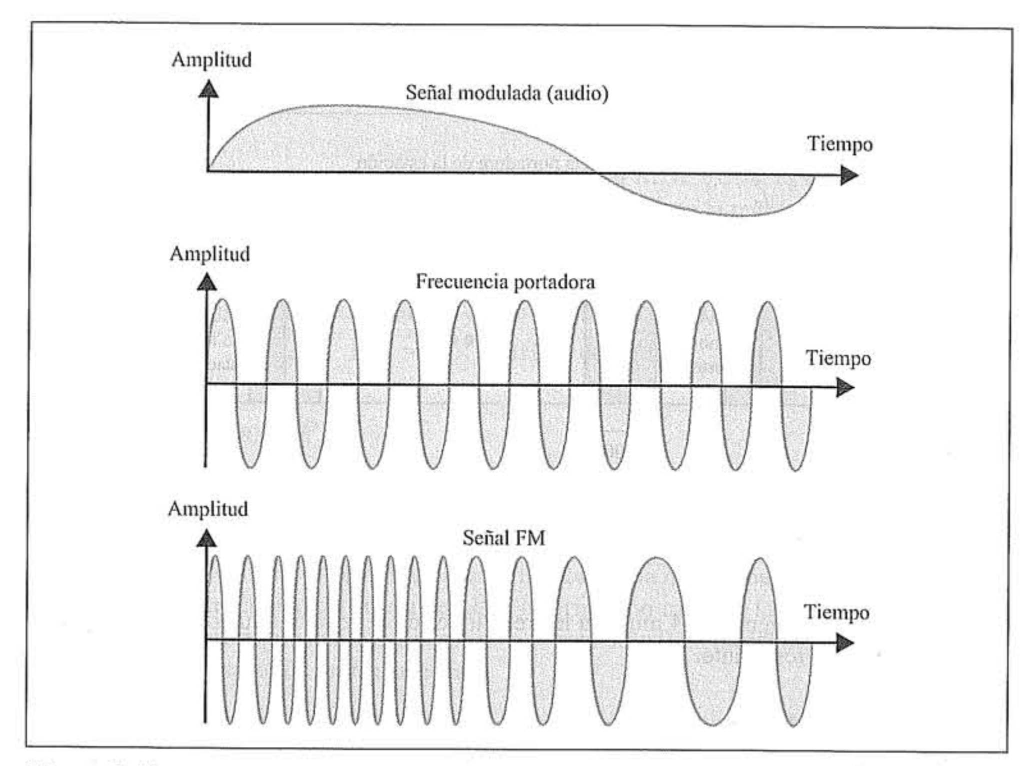


Figura 5.44. *Modulación en frecuencia.*

Modulación en frecuencia (FM)

En la transmisión FM (*Frequency Modulation*), se modula la frecuencia de la señal portadora para seguir los cambios en los niveles de voltaje (amplitud) de la señal modulada. La amplitud pico y la fase de la señal portadora permanecen constantes, pero a medida que la amplitud de la señal de información cambia, la frecuencia de la portadora cambia de forma

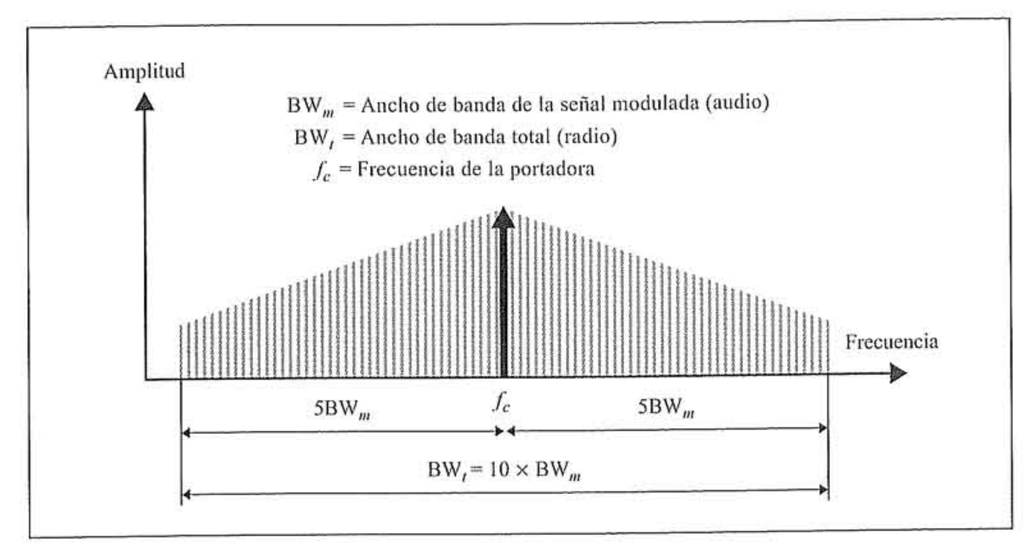


Figura 5.45. *Ancho de banda en FM.*

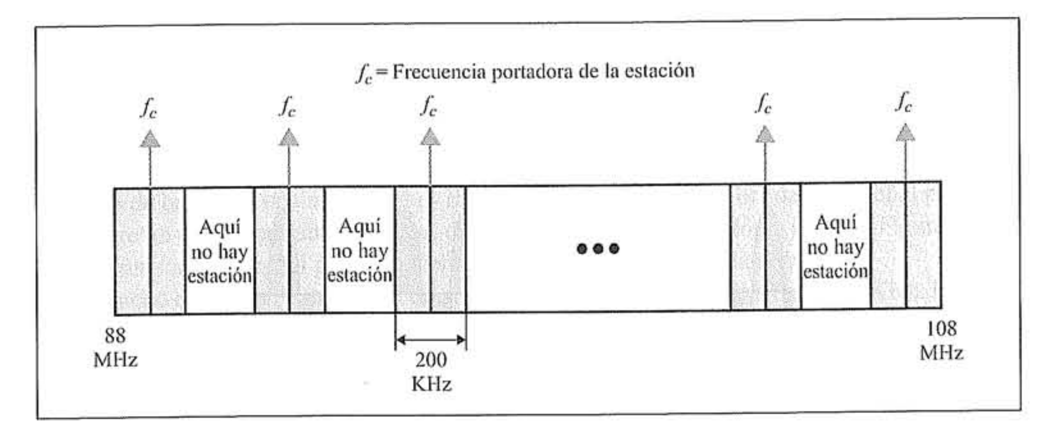


Figura 5.46. *Asignación de banda en FM.*

correspondiente. La Figura 5.44 muestra las relaciones de la señal modulada, la señal portadora y la señal FM resultante.

Ancho de banda en FM

El ancho de banda de una señal FM es igual a diez veces el ancho de banda de la señal modulada y como los anchos de banda AM, cubren un rango centrado alrededor de la frecuencia de la portadora. La Figura 5.45 muestra el ancho de banda y, en la porción sombreada, el espectro de frecuencias de una señal FM.

> El ancho de banda total necesario para FM se puede determinar a partir del ancho de banda de una señal de audio: $BW_t = 10 \times BW_m$.

El ancho de banda de una señal de audio (voz y música) en estéreo es casi 15 KHz. Cada estación de radio FM necesita, por tanto, un ancho de banda mínimo de 150 KHz. El FCC asigna 200 KHz (0,2 MHz) para cada estación, de forma que haya espacio para las bandas de guarda.

> El ancho de banda de una señal audio estéreo es habitualmente 15 KHz. Por tanto, una estación FM necesita por lo menos un ancho de banda de 150 KHz. La FCC exige que el ancho de banda mínimo posea al menos 200 KHz (0,2 MHz).

Las estaciones FM pueden tener frecuencias portadoras en una banda entre los 88 y los 108 MHz. Las estaciones deben estar separadas por al menos 200 KHz para evitar que sus anchos de banda se solapen. Para que haya más privacidad, la FCC exige que en un área determinada solamente se puedan utilizar asignaciones de anchos de banda alternativos. Las restantes permanecen sin usar para prevenir cualquier posibilidad de interferencias entre dos estaciones cualquiera. Dada la banda de 88 a 108 MHz de rango, hay 100 anchos de banda FM potenciales en un área, de los cuales 50 pueden operar en cualquier momento. La Figura 5.46 muestra este concepto.

Ejemplo 5.19

Se tiene una señal de audio con un ancho de banda de 4 MHz. ¿Cuál es el ancho de banda necesario si se modula la señal usando FM? No tenga en cuenta la regulación FCC.

Solución

Una señal FM requiere 10 veces el ancho de banda de la señal original:

$$BW = 10 \times 4 \text{ MHz} = 40 \text{ MHz}$$

Modulación en fase (PM)

Debido a los requisitos de *hardware* más sencillos, la modulación en fase (PM, *Phase Modulation*) se usa en algunos sistemas como alternativa a la modulación en frecuencia. En la transmisión PM, la fase de la señal portadora se modula para seguir los cambios de voltaje (amplitud) de la señal modulada. La amplitud pico y la frecuencia de la señal portadora permanecen constantes, pero a medida que la señal de información cambia, la fase de la portadora cambia de forma correspondiente. Los análisis y el resultado final (señal modulada) son similares a los de la modulación en frecuencia.

5.5. TÉRMINOS Y CONCEPTOS CLAVE

amplitud
bifásico (codificación)
bipolar 3 de alta densidad (HDB3)
bipolar con sustitución de 8 ceros (B8ZS)
codificación
codificación bipolar
codificación digital a digital
codificación Manchester
codificación Manchester diferencial
codificación polar
codificación unipolar
con retorno a cero (RZ)

constelación
conversión analógica a digital
desplazamiento de fase
dibit
fase
frecuencia
inversión de marca alternada (AMI)
modulación analógica a analógica
modulación de amplitud en cuadratura (QAM)
modulación digital a analógica
modulación en amplitud (AM)
modulación en fase (PM)
modulación en frecuencia (FM)
modulación por codificación en pulsos (PCM)
modulación por desplazamiento de amplitud (ASK)
modulación por desplazamiento de fase (PSK)
modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK)
modulación por pulsos en amplitud (PAM)
muestreo
pseudoternario
quadbit
señal portadora
sin retorno a cero (NRZ)
sin retorno a cero121 invertido (NRZ-I)
sin retorno al nivel cero (NRZ-L)
tasa de baudios
tasa de muestreo
teorema de Nyquist
tribit

5.6. RESUMEN

- Hay cuatro tipos de conversión:
  a. Digital a digital.
  b. De analógico a digital.
  c. De digital a analógico.
  d. De analógico a analógico.
- Las categorías de codificación digital a digital incluyen las siguientes:
  a. Unipolar—se usa solamente un nivel de voltaje.
  b. Polar—se usan dos niveles de voltaje. Las variaciones de la codificación polar incluyen las siguientes:
     NRZ (sin retorno a cero).
     NRZ-L (sin retorno al nivel cero).
     NRZ-I (sin retorno a cero invertido).
     RZ (con retorno a cero).
     Bifásica: Manchester y Manchester diferencial.
  c. Bipolar—los unos se representan con voltajes alternativos positivos y negativos:
     AMI (inversión de marca alternada).
     B8ZS (sustitución 8 cero bipolar).
     HDB3 (bipolar 3 de alta densidad).
- La conversión de analógico a digital se hace principalmente en PCM (modulación por codificación en pulsos).
- PCM necesita muestrear, cuantificar cada muestra en un conjunto de bits y después asignar voltajes de nivel a los bits.
- El teorema de Nyquist dice que la tasa de muestreo debe ser por lo menos dos veces el componente de frecuencia más alto de la señal original.

- La modulación de digital a analógico se puede conseguir de varias formas:
  a. Modulación por desplazamiento de amplitud (ASK)—varía la amplitud de la señal portadora.
  b. Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK)—varía la frecuencia de la señal portadora.
  c. Modulación por desplazamiento de fase (PSK)—varía la fase de la señal portadora.
  d. Modulación por amplitud en cuadratura (QAM)—tanto la fase como la amplitud de la señal portadora varían simultáneamente.
- QAM permite una mayor tasa de transmisión de datos que otros métodos de conversión de digital a analógico.
- La tasa de baudios y la tasa de bits no son sinónimas. La tasa de bits es el número de bits transmitidos por segundo. La tasa de baudios es el número de unidades transmitidas por segundo. Una unidad de señal puede representar uno o más bits.
- Los requisitos mínimos del ancho de banda para ASK y PSK son la tasa de baudios.
- Los requisitos mínimos del ancho de banda (BW) para modulación FSK son $BW = f_{c1} - f_{c0} + N_{baudios}$, donde f_{c1} es la frecuencia que representa un bit, f_{c0} es la frecuencia que representa al bit 0 y $N_{baudios}$ es la tasa de baudios.
- La modulación de analógico a analógico se puede implementar usando lo siguiente:
  a. Modulación en amplitud (AM).
  b. Modulación en frecuencia (FM).
  c. Modulación en fase (PM).
- En AM la amplitud de la onda portadora varía con la amplitud de la señal modulada.
- En FM la frecuencia de la onda portadora varía con la amplitud de la onda modulada.
- En radio AM, el ancho de banda de la señal modulada debe ser al menos dos veces el ancho de banda de la señal que se modula.
- En la radio FM, el ancho de banda de la señal modulada debe ser 10 veces el ancho de banda de la señal que se modula.
- En PM la fase de la señal portadora varía con la amplitud de la señal que se modula.

5.7. MATERIAL PRÁCTICO

Preguntas de revisión

1. ¿Cuál es la diferencia entre codificación y modulación?
2. ¿Qué es la codificación digital a digital?
3. ¿Qué es la conversión de analógico a digital?
4. ¿Qué es la conversión de digital a analógico?
5. ¿Qué es la conversión de analógico a analógico?
6. ¿Por qué es la modulación en frecuencia es superior a la modulación en amplitud?
7. ¿Cuál es la ventaja de QAM sobre ASK o PSK?
8. ¿En qué difieren las tres categorías de codificación digital a digital?
9. ¿Qué es el componente DC?
10. ¿Por qué la sincronización es un problema en la transmisión de datos?

11. ¿En qué difiere NRZ-L de NRZ-I?
12. Presente los dos tipos de codificación bifásica que se usan en las redes.
13. ¿Cuál es la principal desventaja de usar la codificación NRZ? ¿Cómo intentan la codificación NRZ y la codificación bifásica resolver el problema?
14. Compare y contraste RZ y AMI bipolar.
15. ¿Cuáles son los tres tipos de codificación bipolar?
16. Compare y contraste la codificación B8ZS y HDB3.
17. Enumere los pasos a realizar para convertir una señal analógica en un código digital PCM.
18. ¿Cómo afecta la tasa de muestreo a la señal digital transmitida?
19. ¿Cómo afecta el número de bits asignado por cada muestra a la señal digital transmitida?
20. ¿Cuáles son los cuatro métodos que convierten una señal digital en una señal analógica?
21. ¿Cuál es la diferencia entre la tasa de bits y la tasa de baudios? Dé un ejemplo donde ambas sean igual. Dé un ejemplo donde sean distintas.
22. ¿Qué es la modulación?
23. ¿Cuál es el objetivo de la señal portadora en la modulación?
24. ¿Cómo se relaciona la tasa de baudios con el ancho de banda de transmisión en ASK?
25. ¿Cómo se relaciona la tasa de baudios con el ancho de banda de transmisión en FSK?
26. ¿Cómo se relaciona la tasa de baudios con el ancho de banda de transmisión en PSK?
27. ¿Qué tipo de información se puede obtener en un diagrama de constelación?
28. ¿Cómo se relaciona la tasa de baudios con el ancho de banda de transmisión en QAM?
29. ¿Cómo se relaciona QAM con ASK y PSK
30. ¿Cuál es el principal factor que hace que PSK sea superior a ASK?
31. ¿En qué difiere AM de ASK?
32. ¿En qué difiere FM de FSK?
33. Compare el ancho de banda de FM con el ancho de banda de AM en términos de la señal que se modula.

Preguntas con respuesta múltiple

34. ASK, PSK, FSK y QAM son ejemplos de modulación _____.
    a. digital a digital
    b. de digital a analógico
    c. de analógico a analógico
    d. de analógico a digital
35. La codificación unipolar, bipolar y polar son tipos de codificaciones _____.
    a. digital a digital
    b. de digital a analógico
    c. de analógico a analógico
    d. de analógico a digital
36. PCM es un ejemplo de conversión_____.
    a. digital a digital
    b. de digital a analógico
    c. de analógico a analógico
    d. de analógico a digital
37. AM y FM son ejemplos de modulación _____.
    a. digital a digital

    b. de digital a analógico
    c. de analógico a analógico
    d. de analógico a digital
38. En QAM, tanto la fase como la _____ de la frecuencia portadora cambian.
    a. amplitud
    b. frecuencia
    c. tasa de bits
    d. tasa de baudios
39. ¿Cuál de las siguientes se ve más afectada por el ruido?
    a. PSK
    b. ASK
    c. FSK
    d. QAM
40. Si el espectro de frecuencia de una señal tiene un ancho de banda de 500 Hz con la frecuencia más alta en 600 Hz, ¿cuál debería ser la tasa de muestreo de acuerdo al teorema de Nyquist?
    a. 200 muestras/segundo
    b. 500 muestras/segundo
    c. 1.000 muestras/segundo
    d. 1.200 muestras/segundo
41. Si la tasa de baudios es 400 para una señal 4-PSK, la tasa de bits es _____ bps.
    a. 100
    b. 400
    c. 800
    d. 1.600
42. Si la tasa de bits de una señal ASK es 1.200 bps, la tasa de baudios es _____.
    a. 300
    b. 400
    c. 600
    d. 1.200
43. Si la tasa de bits de una señal FSK es 1.200 bps, la tasa de baudios es _____.
    a. 300
    b. 400
    c. 600
    d. 1.200
44. Si la tasa de bits de una señal QAM es 3.000 bps y un elemento de señal se representa mediante un tribit, ¿cuál es la tasa de baudios?
    a. 300
    b. 400
    c. 1.000
    d. 1.200
45. Si la tasa de baudios de una señal QAM es 3.000 y el elemento de señal se representa con un tribit, ¿cuál es la tasa de bits?
    a. 300
    b. 400
    c. 1.000
    d. 9.000

46. Si la tasa de baudios de una señal QAM es 1.800 y la tasa de bits es 9.000, ¿cuántos bits hay por elemento de señal?
    a. 3
    b. 4
    c. 5
    d. 6
47. En 16-QAM, hay 16 ____.
    a. combinaciones de fase y amplitud
    b. amplitudes
    c. fases
    d. bits por segundo
48. ¿Qué técnica de modulación usa tribits, ocho diferentes desplazamientos en fase, y una amplitud?
    a. FSK
    b. 8-PSK
    c. ASK
    d. 4-PSK
49. El teorema de Nyquist especifica que la tasa mínima de muestreo debe ser _____.
    a. igual a la frecuencia más baja de la señal
    b. igual a la frecuencia más alta de la señal
    c. el doble del ancho de banda de la señal
    d. el doble de la frecuencia más alta de la señal
50. Dada una señal de radio AM con un ancho de banda de 10 KHz y cuyo componente de frecuencia más alta es 705 KHz, ¿cuál es la frecuencia de la señal portadora?
    a. 700 KHz
    b. 705 KHz
    c. 710 KHz
    d. no se puede determinar con la información anterior
51. Un factor de la exactitud de una señal PCM reconstruida es el ____.
    a. ancho de banda de la señal
    b. frecuencia de la portadora
    c. número de bits usados para la cuantificación
    d. tasa de baudios
52. ¿Qué tipo de codificación tiene siempre una amplitud media no nula?
    a. Unipolar
    b. Polar
    c. Bipolar
    d. Todas las anteriores
53. ¿Cuál de los siguientes métodos de codificación no proporciona sincronización?
    a. NRZ-L
    b. RZ
    c. B8ZS
    d. HDB3
54. ¿Qué método de codificación usa valores alternativos positivos y negativos para los unos?
    a. NRZ-I
    b. RZ
    c. Manchester
    d. AMI
55. ¿En qué tipo de codificación digital a digital se usan violaciones deliberadas de la inversión de marcas alternas?
    a. AMI
    b. B8ZS
    c. RZ
    d. Manchester
56. Una señal modulada está formada por _____.
    a. cambios de la señal que se modula por la onda portadora
    b. cambios de la onda portadora por la señal que se modula
    c. cuantificación de los datos fuente
    d. muestreo de la frecuencia de Nyquist
57. Si se siguen las regulaciones de la FCC, las frecuencias de la portadora de las estaciones de radio adyacentes deben estar separadas _____.
    a. 5 KHz
    b. 10 KHz
    c. 200 KHz
    d. 530 KHz
58. Si se siguen las regulaciones de la FCC, ¿cuántas estaciones potenciales de FM son teóricamente posibles en una zona?
    a. 50
    b. 100
    c. 133
    d. 150
59. En PCM, hay conversión analógico a _____.
    a. analógico
    b. digital
    c. QAM
    d. diferencial
60. Si el máximo valor de una señal PCM es 31 y el mínimo valor es –31, ¿cuántos bits se usaron para codificar?
    a. 4
    b. 5
    c. 6
    d. 7
61. Cuando se descompone una señal ASK, el resultado es ____.
    a. siempre una onda seno
    b. siempre dos ondas seno
    c. un número infinito de ondas seno
    d. ninguna de las anteriores
62. La codificación RZ involucra _____ nivel(es) de amplitud de señal.
    a. 1
    b. 3
    c. 4
    d. 5
63. ¿Qué nivel de cuantificación da como resultado una reproducción de la señal más fiable?

a. 2
b. 8
c. 16
d. 32

64. ¿Qué técnica de codificación intenta resolver la pérdida de sincronización debida a largas secuencias de ceros?
a. B8ZS
b. HDB3
c. AMI
d. a y b

65. ¿Qué tipo de conversión incluye modulación de una señal?
a. conversión digital a digital
b. conversión de analógico a digital
c. conversión de digital a analógico
d. todas las anteriores

66. ¿Qué tipo de conversión necesita el muestreo de una señal?
a. conversión digital a digital
b. conversión de analógico a digital
c. conversión de digital a analógico
d. todas las anteriores

67. El ancho de banda de una señal FM necesita 10 veces el ancho de banda de la señal ____.
a. portadora
b. que se modula
c. bipolar
d. muestreo

68. La modulación de una señal analógica se puede llevar a cabo a través de la modulación de ____ de la señal portadora.
a. amplitud
b. frecuencia
c. fase
d. ninguna de las anteriores

69. La modulación de una señal digital se puede llevar a cabo a través de la modulación de ____ de la señal portadora.
a. amplitud
b. frecuencia
c. fase
d. ninguna de las anteriores

Ejercicios

70. Si la tasa de bits de una señal es 1.000 bits/segundo, ¿cuántos bits se pueden enviar en 5 segundos?, ¿cuántos bits en 1/5 segundos?, ¿cuántos bits en 100 milisegundos?

71. Asuma un flujo de datos formado por diez ceros. Codifique este flujo usando los siguientes esquemas de codificación. ¿Cuántos cambios (línea vertical) se pueden encontrar para cada esquema?
a. unipolar
b. polar NRZ-L
c. polar NRZ-I

d. RZ
e. Manchester
f. Manchester diferencial
g. AMI
h. pseudoternario
i. B8ZS
j. HDB3

72. Repita el Ejercicio 71 para un flujo de datos de diez unos.
73. Repita el Ejercicio 71 para un flujo de datos de diez ceros y unos alternantes.
74. Repita el Ejercicio 71 para un flujo de datos de tres ceros seguidos por dos unos seguidos por dos ceros y otros tres unos.
75. La Figura 5.47 es la codificación unipolar de un flujo de datos. ¿Cuál es el flujo de datos?
76. La Figura 5.48 es la codificación NRZ-L de un flujo de datos. ¿Cuál es el flujo de datos?
77. Repita el Ejercicio 76 si la figura es la codificación NRZ-I del flujo de datos.
78. La Figura 5.49 es la codificación RZ de un flujo de datos. ¿Cuál es el flujo de datos?
79. La Figura 5.50 es la codificación Manchester de un flujo de datos. ¿Cuál es el flujo de datos?
80. Repita el Ejercicio 79 si la figura es la codificación Manchester diferencial de un flujo de datos.

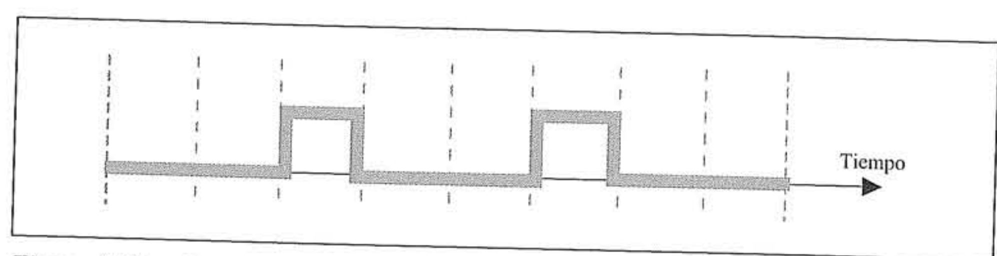


Figura 5.47. *Ejercicio 75.*

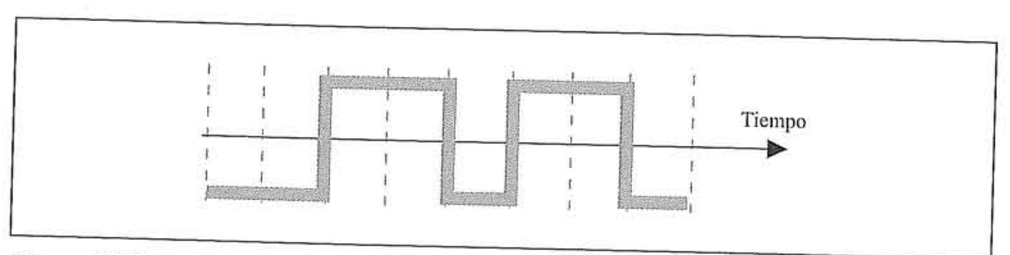


Figura 5.48. *Ejercicios 76 y 77.*

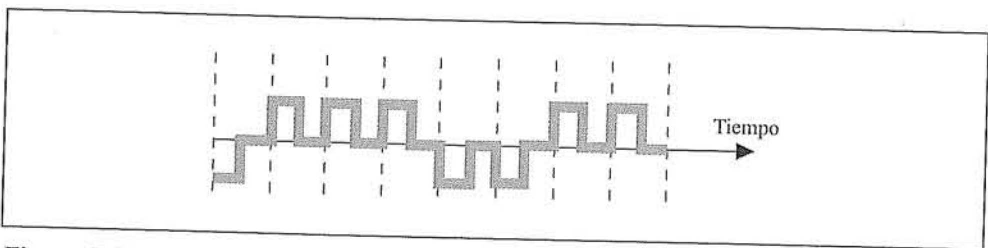


Figura 5.49. *Ejercicio 78.*

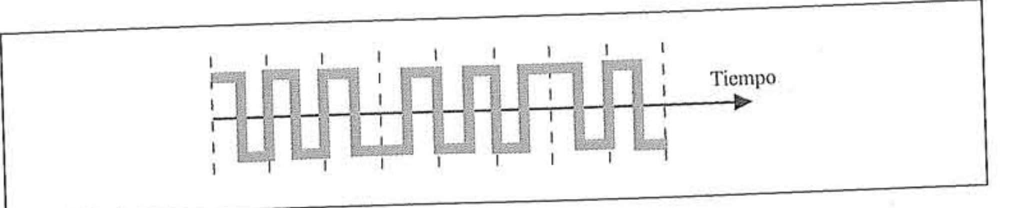


Figura 5.50. *Ejercicios 79 y 80.*

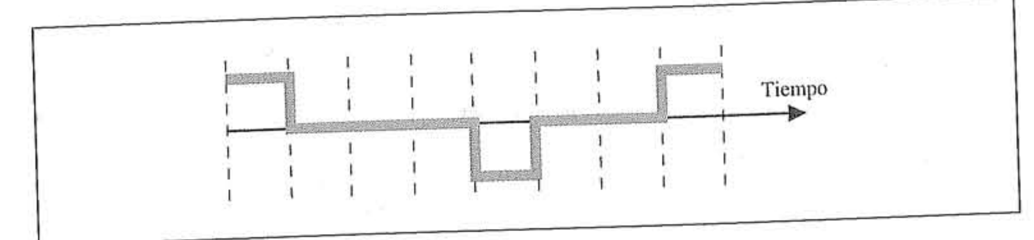


Figura 5.51. *Ejercicios 81 y 82.*

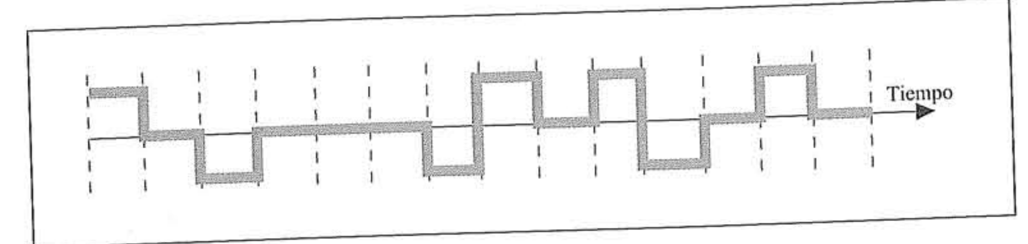


Figura 5.52. *Ejercicio 83.*

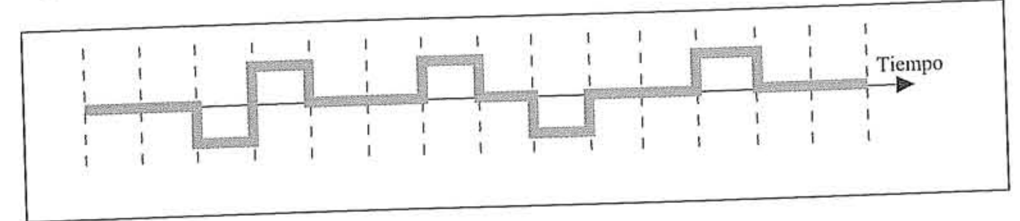


Figura 5.53. *Ejercicio 84.*

81. La Figura 5.51 es la codificación AMI de un flujo de datos. ¿Cuál es el flujo de datos?
82. Repita el Ejercicio 81 si la figura es la codificación pseudoternaria de un flujo de datos.
83. La Figura 5.52 es la codificación B8ZS de un flujo de datos. ¿Cuál es el flujo de datos?
84. La Figura 5.53 es la codificación HDB3 de un flujo de datos. ¿Cuál es el flujo de datos?
85. ¿Cuántos niveles de amplitud hay para cada uno de los siguientes métodos?
    a. Unipolar
    b. NRZ-L
    c. NRZ-I
    d. RZ
    e. Manchester
    f. Manchester diferencial

86. ¿Cuál es la tasa de muestreo para PCM si los rangos de frecuencia varían de 1.000 a 4.000 Hz?
87. Usando el teorema de Nyquist, calcule la tasa de muestreo para las siguientes señales analógicas:
    a. Una señal analógica con ancho de banda de 2.000 Hz.
    b. Una señal analógica con frecuencias de 2.000 a 6.000 Hz.
    c. Una señal con una línea horizontal en la representación de dominio del tiempo.
    d. Una señal con una línea vertical en la representación del dominio del tiempo.
88. Si una señal se muestrea 8.000 veces por segundo, ¿cuál es el intervalo entre cada muestra?
89. Si el intervalo entre dos muestras de una señal digitalizada es 125 microsegundos, ¿cuál es la tasa de muestreo?
90. Sea una señal muestreada. Cada muestra representa uno de entre cuatro niveles. ¿Cuántos bits son necesarios para representar cada muestra? Si la tasa de muestreo es 8.000 muestras por segundo, ¿cuál es la tasa de bits?
91. Calcule la tasa de baudios para las siguientes tasas de bits y tipos de modulación:
    a. 2.000 bps, FSK
    b. 4.000 bps, ASK
    c. 6.000 bps, 2-PSK
    d. 6.000 bps, 4-PSK
    e. 6.000 bps, 8-PSK
    f. 4.000 bps, 4-QAM
    g. 6.000 bps, 16-QAM
    h. 36.000 bps, 64-QAM
92. Calcule la tasa de baudios para las siguientes tasas de bits y combinaciones de bit:
    a. 2.000 bps, dibit
    b. 6.000 bps, tribit
    c. 6.000 bps, quadbit
    d. 6.000 bps, bit
93. Calcule la tasa de bits para las siguientes tasas de baudios y tipos de modulación:
    a. 1.000 baudios, FSK
    b. 1.000 baudios, ASK
    c. 1.000 baudios, 8-PSK
    d. 1.000 baudios, 16-QAM
94. Dibuje el diagrama constelación para lo siguiente:
    a. ASK, con amplitudes de 1 y 3
    b. 2-PSK, con amplitudes de 1 a 0 y 180 grados
95. Los datos de una fuente varían entre los valores –1,0 y 1,0. ¿En qué se transforman los puntos 0,91, –0,25, 0,56 y 0,71 si se usa cuantificación con 8 bits?
96. Los puntos de datos de una constelación están en (4, 0) y (6, 0). Dibuje la constelación. Muestre la amplitud y la fase de cada punto. ¿Es la modulación ASK, PSK o QAM? ¿Cuántos bits por baudio puede uno enviar con esta constelación?
97. Repita el Ejercicio 96 si los puntos de datos son (4, 5) y (8, 10).
98. Repita el Ejercicio 96 si los puntos de datos son (4, 0) y (–4, 0).
99. Repita el Ejercicio 96 si los puntos de datos son (4, 4) y (–4, 4).
100. Repita el Ejercicio 96 si los puntos de datos son (4, 0), (4, 4), (–4, 0) y (–4, –4).
101. ¿Representa la constelación de la Figura 5.54 a ASK, FSK, PSK o QAM?

Figura 5.54. *Ejercicio 101.*

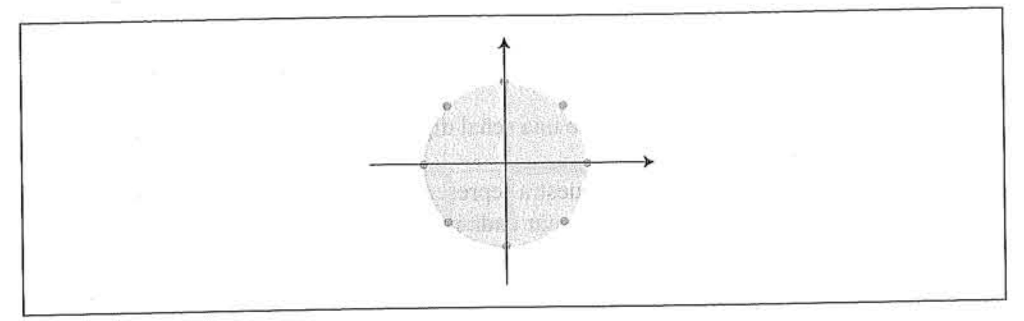


Figura 5.55. *Ejercicio 102.*

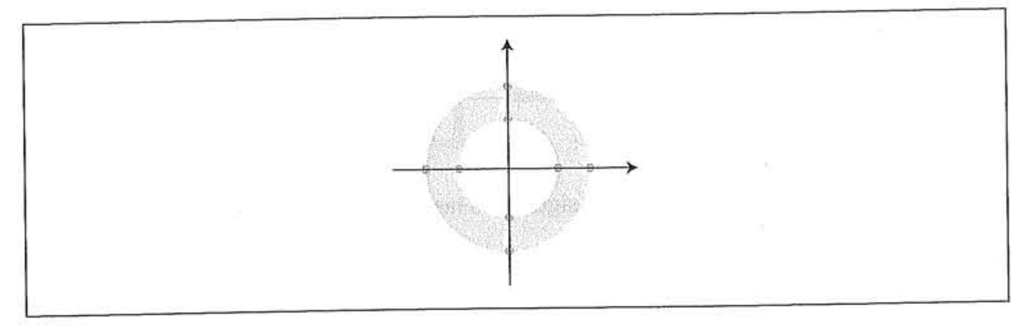


Figura 5.56. *Ejercicio 103.*

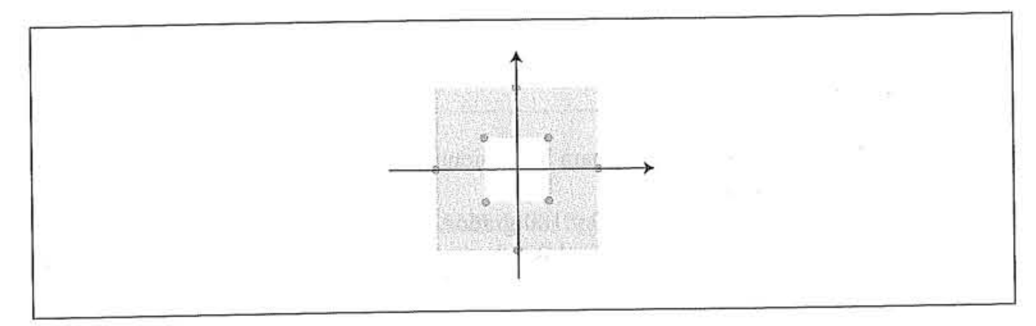


Figura 5.57. *Ejercicio 104.*

102. ¿Representa la constelación de la Figura 5.55 a ASK, FSK, PSK o QAM?
103. ¿Representa la constelación de la Figura 5.56 a ASK, FSK, PSK o QAM?
104. ¿Representa la constelación de la Figura 5.57 a ASK, FSK, PSK o QAM?
105. ¿Puede una constelación tener 12 puntos? ¿Por qué o por qué no?
106. ¿Puede una constelación tener 18 puntos? ¿Por qué o por qué no?

107. ¿Se puede definir una regla general para el número de puntos de una constelación?
108. Si el número de puntos en una constelación es ocho, ¿cuántos bits se pueden enviar por baudio?
109. Calcule el ancho de banda necesario para cada una de las siguientes estaciones AM. No tenga en cuenta las reglas FCC.
    a. Señal a modular con un ancho de banda de 4 KHz.
    b. Señal a modular con un ancho de banda de 8 KHz.
    c. Señal a modular con frecuencias de 2.000 a 3.000 Hz.
110. Calcule el ancho de banda necesario para cada una de las siguientes estaciones FM. No tenga en cuenta las reglas FCC.
    a. Señal a modular con un ancho de banda de 12 KHz.
    b. Señal a modular con un ancho de banda de 8 KHz.
    c. Señal a modular con frecuencias de 2.000 a 3.000 Hz.

CAPÍTULO 6

Transmisión de datos digitales: interfaces y módems

Una vez codificada la información en un formato que se puede transmitir, el paso siguiente es investigar el proceso de transmisión en sí mismo. El equipo de procesamiento de la información genera señales codificadas, pero habitualmente necesita asistencia para transmitir estas señales a través de un enlace de comunicación. Por ejemplo, una PC genera una señal digital pero necesita un dispositivo adicional para modular una frecuencia portadora antes de poder enviar los datos por una línea telefónica. ¿Cómo se entregan los datos codificados del dispositivo generador al siguiente dispositivo de procesamiento? La respuesta es un conjunto de cables, un tipo de enlace de minicomunicación, denominado **interfaz.**

Debido a que la interfaz enlaza dos dispositivos no necesariamente hechos por el mismo fabricante, es necesario definir bien sus características y establecer estándares. Las características de una interfaz incluyen sus especificaciones mecánicas (cuántos cables se usan para transportar la señal), sus especificaciones eléctricas (la amplitud, la frecuencia y la fase de la señal esperada) y sus especificaciones funcionales (si se usan múltiples cables, ¿qué hace cada uno de ellos?). Todas estas características se describen en varios estándares populares y están incluidas en el nivel físico del modelo OSI.

6.1. TRANSMISIÓN DE DATOS DIGITALES

El cableado es de importancia primordial cuando se considera la transmisión de datos digitales de un dispositivo a otro, y de importancia primordial cuando se piensa en los cables es el flujo de datos. ¿Se envía un bit cada vez o se unen los bits en grupos mayores, y si es así cómo? La transmisión de datos binarios por un enlace se puede llevar a cabo en modo paralelo o en modo serie. En el modo paralelo, se envían varios bits con cada pulso de reloj. En el modo serie, solamente se envía un bit con cada pulso de reloj. Mientras que hay una única forma de transmitir los datos en paralelo, hay dos subclases de transmisión serie: síncrona y asíncrona (véase la Figura 6.1).

Transmisión paralela

Los datos binarios, formados por unos y ceros, se pueden organizar en grupos de n bits cada uno. Las computadoras producen y consumen datos en grupos de bits de forma similar a como se conciben y usan las palabras, y no las letras, en el lenguaje hablado. Agrupando los datos, se pueden enviar n bits al mismo tiempo en lugar de uno solo. Esto se denomina **transmisión paralela.**

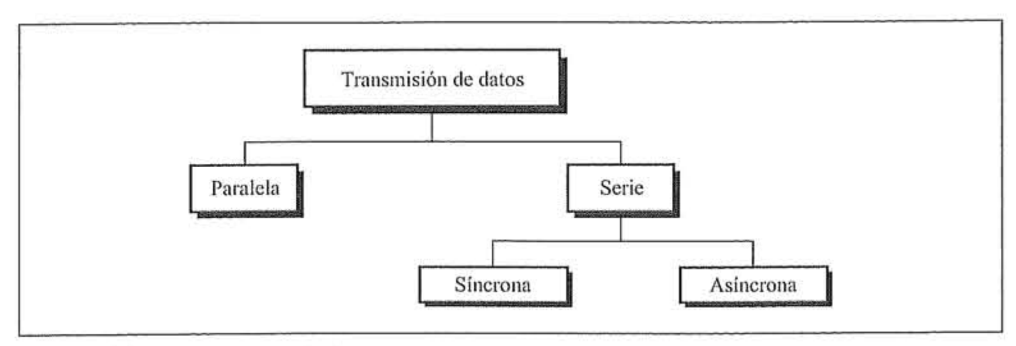


Figura 6.1. *Transmisión de datos.*

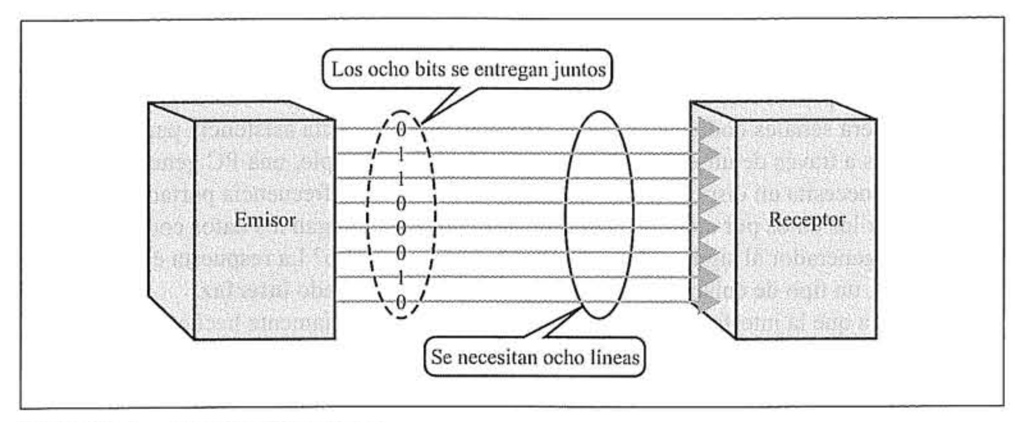


Figura 6.2. *Transmisión paralela.*

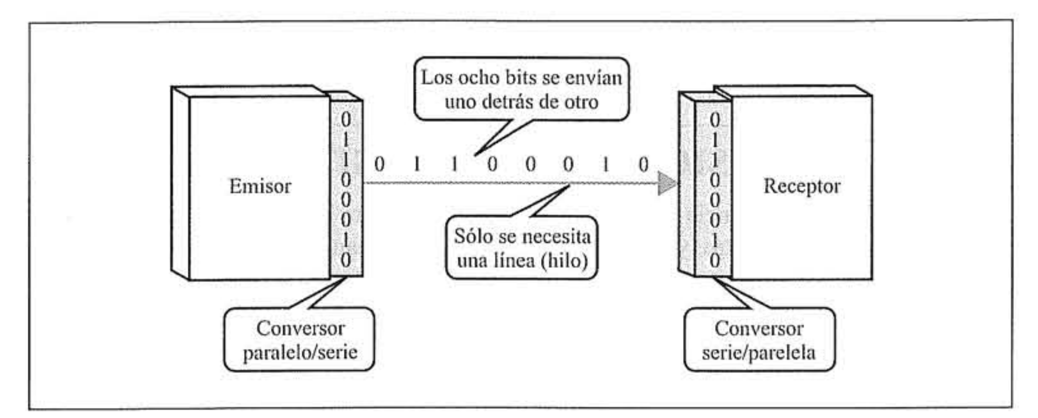


Figura 6.3. *Transmisión serie.*

El mecanismo de la transmisión paralela es conceptualmente sencillo: usar n hilos para enviar n bits cada vez. De esa forma cada bit tiene su propio hilo y todos los n bits de un grupo se pueden transmitir con cada pulso de reloj de un dispositivo a otro. La Figura 6.2 muestra cómo funciona la transmisión paralela para $n = 8$. Habitualmente, los ocho hilos están agrupados en un cable con un conector a cada extremo.

La ventaja de la transmisión paralela es la velocidad. Aunque todo sea igual, la transmisión paralela puede incrementar la velocidad de transferencia en un factor de n sobre la transmisión serie. Sin embargo, hay una desventaja significativa: el coste. La transmisión paralela requiere n líneas de comunicación (los hilos del ejemplo) para transmitir el flujo de datos. Debido a que esto es caro, el uso de la transmisión paralela se limita habitualmente a distancias cortas.

Transmisión serie

En la **transmisión serie** un bit sigue a otro, por lo que solamente se necesita un canal de comunicación, en lugar de n, para transmitir datos entre dos dispositivos (véase la Figura 6.3).

La ventaja de la transmisión serie sobre la transmisión paralela es que, al tener un único canal de comunicación, la transmisión serie reduce el coste de transmisión sobre la paralela en un factor de n.

Puesto que la comunicación dentro de los dispositivos es paralela, es necesario usar dispositivos de conversión en la interfaz entre el emisor y la línea (paralelo a serie) y entre la línea y el receptor (serie a paralelo).

La transmisión serie puede llevarse a cabo de dos maneras: asíncrona y síncrona.

Transmisión asíncrona

La **transmisión asíncrona** se denomina así debido a que la temporización de la señal no es importante. En lugar de ella, la información se recibe y se traduce usando patrones acordados. Siempre que se sigan estos patrones, el dispositivo de recepción puede recuperar la información sin tener en cuenta el ritmo al que llega. Los patrones se basan en agrupar el flujo de bits en bytes. Cada grupo, habitualmente de ocho bits, se envía a lo largo de un enlace como una unidad. El sistema que lo envía gestiona cada grupo independientemente, entregándolo al enlace en cuanto está listo, sin tener en cuenta ninguna temporización.

Sin la existencia de un pulso de sincronización, el receptor no puede usar el tiempo para predecir cuándo va a llegar el grupo siguiente. Por ello, para avisar al receptor de la llegada de un nuevo grupo se añade un bit extra al principio de cada byte. Este bit, habitualmente un cero, se denomina **bit de inicio.** Para permitir al receptor conocer que el byte ha terminado, se añaden uno o varios bits adicionales al final de cada byte. Estos bits, habitualmente unos, se denominan **bits de parada.** Usando este método, el tamaño de cada byte se incrementa hasta al menos diez bits, de los cuales ocho son información y dos, o más, son señales para el receptor. Además, la transmisión de cada byte puede venir seguida por un intervalo de duración variable. Este intervalo se puede representar mediante un canal vacío o mediante una cadena de bits de parada adicionales.

> En la transmisión asíncrona, se envía un bit de inicio (cero) al principio y uno o más bits de parada (unos) al final de cada byte. Puede haber un intervalo entre cada byte.

Los bits de inicio, de parada y el intervalo alertan al receptor del comienzo y el fin de cada byte y le permiten sincronizarse con el flujo de datos. Este mecanismo se denomina asíncrono porque el emisor y el receptor no tienen que estar sincronizados a nivel de byte. Pero dentro de cada byte, el receptor sí debe estar sincronizado con el flujo de bits que le llega. Es decir, hace falta tener alguna sincronización, pero solamente durante el tiempo en que se reci-

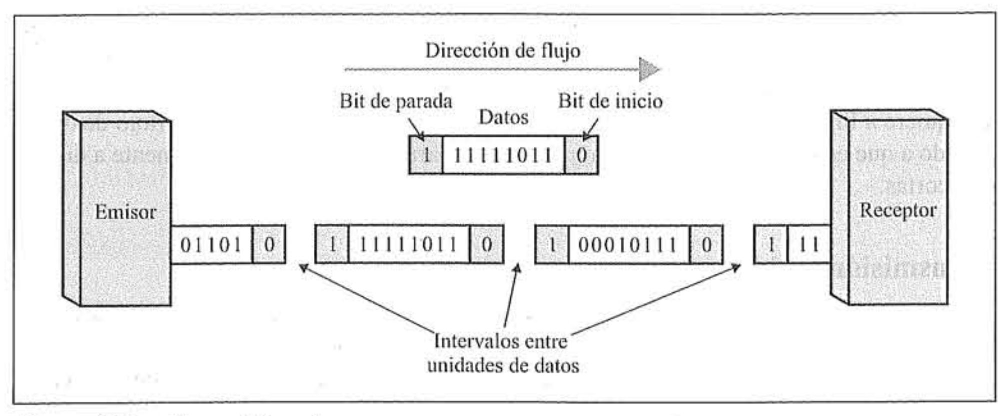


Figura 6.4. *Transmisión asíncrona.*

be un byte. El dispositivo de recepción se resincroniza al principio de cada nuevo byte. Cuando el receptor detecta un bit de inicio, activa un temporizador y comienza a contar los bits a medida que llegan. Después de *n* bits, el receptor busca un bit de parada. Tan pronto como lo detecta, ignora cualquier pulso recibido hasta que vuelve a detectar un nuevo bit de inicio.

En este ámbito, asíncrono significa «asíncrono a nivel de byte», pero los bits siguen estando sincronizados; su duración es la misma.

La Figura 6.4 es una representación esquemática de una transmisión asíncrona. En este ejemplo, los bits de inicio son ceros, los bits de parada son unos y el intervalo se representa mediante un canal vacío, en lugar de usar bits de parada adicionales.

La adición de bits de inicio y de parada y de los intervalos de inserción dentro del flujo de bits hace que la transmisión asíncrona sea más lenta que las formas de transmisión que pueden operar sin añadir toda esta información de control. Pero es barata y efectiva, dos ventajas que la convierten en una elección atractiva para situaciones como las comunicaciones de baja velocidad. Por ejemplo, la conexión de un terminal a una computadora es una aplicación natural para la transmisión asíncrona. Un usuario teclea solamente un carácter cada vez, lo que es extremadamente lento en términos de procesamiento de datos, y deja unos intervalos de tiempo impredecibles entre cada carácter.

Transmisión síncrona

En la **transmisión síncrona,** el flujo de datos se combina en *tramas* más largas que pueden contener múltiples bytes. Sin embargo, cada byte se introduce en el enlace de transmisión sin que haya un intervalo con el siguiente. Se deja al receptor la tarea de separar el flujo de bits en bytes para su decodificación. En otras palabras, los datos se transmiten como una cadena continua de unos y ceros y el receptor separa esta cadena en bytes o caracteres, si necesita reconstruir la información.

En la transmisión síncrona, se envía un bit detrás de otro, sin bits de inicio/parada o intervalos. Es responsabilidad del receptor agrupar los bits.

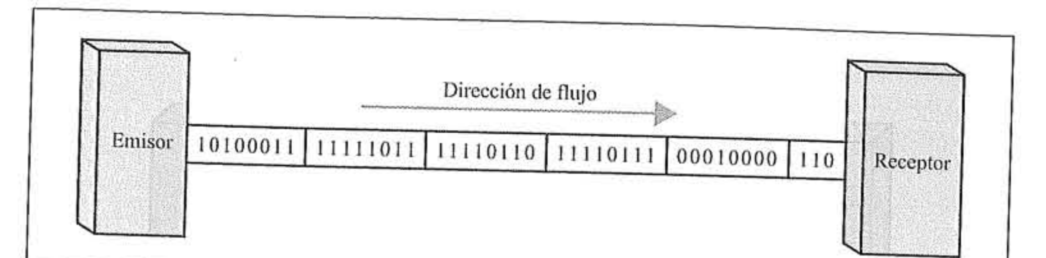


Figura 6.5. *Transmisión síncrona.*

La Figura 6.5 muestra un esquema de la transmisión síncrona en el que se han incluido divisiones entre los bytes. En la realidad, estas divisiones no existen; el emisor pone los datos en la línea como una tira larga. Si el emisor desea enviar datos en ráfagas separadas, los intervalos entre las ráfagas deben rellenarse como una secuencia especial de ceros y unos que indican *vacío*. El receptor cuenta los bits a medida que llegan y los agrupa en unidades de ocho bits.

Sin intervalos y bits de inicio/parada, no hay ningún mecanismo interno en la comunicación para ayudar al receptor a ajustar su bit de sincronización en medio de una transmisión. Por ello, la temporización se vuelve muy importante, ya que la exactitud de la información recibida depende completamente de la habilidad del dispositivo receptor de llevar exactamente la cuenta de los bits a medida que llegan.

La ventaja de la transmisión síncrona es la velocidad. Puesto que no hay bits extra o intervalos que introducir en el emisor, ni que eliminar en el receptor, se consigue, por extensión, transmitir menos bits a lo largo del enlace, lo que hace que la transmisión síncrona sea más rápida que la transmisión asíncrona. Por este motivo, la transmisión síncrona es más útil para aplicaciones de alta velocidad como la transmisión de datos de una computadora a otra. La sincronización a nivel de byte se lleva a cabo en el nivel de enlace de datos.

6.2. INTERFAZ DTE-DCE

Llegados a este punto es necesario clarificar dos términos importantes para las redes de computadoras: **equipo terminal de datos (DTE,** *Data Terminal Equipment*) y **equipo terminal del circuito de datos (DCE,** *Data Circuit-Terminating Equipment*). Habitualmente, hay cuatro unidades funcionales básicas involucradas en la comunicación de los datos: un DTE y un DCE en un extremo y un DTE y un DCE en el otro, como se muestra en la Figura 6.6. El DTE genera los datos y los pasa, junto con los caracteres de control necesarios, a un DCE. El DCE convierte la señal a un formato apropiado para el medio de transmisión y la introduce en el enlace de la red. Cuando la señal llega al receptor, se efectúa el proceso inverso.

Equipo terminal de datos (DTE)

El equipo terminal de datos (DTE) incluye cualquier unidad que funcione como origen o destino para datos digitales binarios. A nivel físico, puede ser un terminal, una microcomputadora, una computadora, una impresora, un fax o cualquier otro dispositivo que genere o consuma datos digitales. Los DTE no se suelen comunicar directamente a menudo; generan y consumen informa-

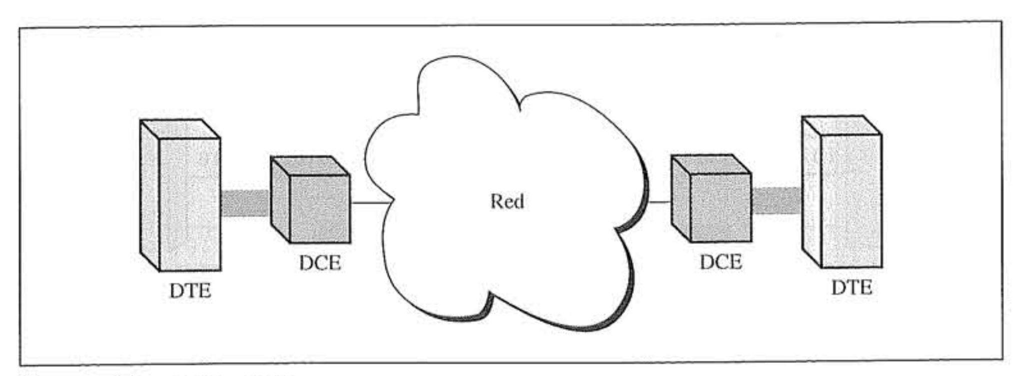


Figura 6.6. *DTE y DCE.*

ción pero necesitan un intermediario para ser capaz de comunicarse. Piense que un DTE funciona de la misma forma en que lo hace nuestro cerebro cuando hablamos. Suponga que alguien tiene una idea que quiere comunicar a un amigo. Su cerebro crea la idea pero no puede transmitir la idea directamente al cerebro de su amigo. Por desgracia, o por suerte, no somos telépatas. En su lugar, el cerebro pasa la idea a las cuerdas vocales y la boca, que la convierten en ondas de sonido que pueden viajar a través del aire o por una línea telefónica hasta el oído de su amigo y de aquí a su cerebro, donde se vuelve a convertir en información. En este modelo, su cerebro y el cerebro de su amigo son DTE. Sus cuerdas vocales y su boca son su DCE. El oído de su amigo también es un DCE. El aire o la línea telefónica es el medio de transmisión.

Un DTE es cualquier dispositivo que es origen o destino para datos digitales binarios.

Equipo terminal del circuito de datos (DCE)

El equipo terminal del circuito de datos (DCE) incluye cualquier unidad funcional que transmita o reciba datos a través de una red en forma de señal digital o analógica. A nivel físico, un DCE toma los datos generados por el DTE, los convierte en una señal apropiada y después introduce la señal en un enlace de telecomunicaciones. Entre los DCE que se usan habitualmente en este nivel se incluyen los módems (moduladores/demoduladores, que se tratan en la Sección 6.4). En cualquier red, un DTE genera datos digitales y se los pasa a un DCE; el DCE convierte los datos a un formato aceptable para el medio de transmisión y envía la señal convertida a otro DCE de la red.

El segundo DCE extrae la señal de la línea, la convierte en un formato utilizable por su DTE y la entrega. Para hacer que la comunicación sea posible, tanto el DCE emisor como el receptor deben usar el mismo método de modulación (por ejemplo, FSK), de la misma forma que si usted se quiere comunicar con alguien que comprende solamente el japonés, será necesario que hable en japonés. Los DTE no necesitan estar coordinados entre sí, pero cada uno debe estar coordinado con su propio DCE, y los DCE deben estar coordinados de forma que la traducción de datos se pueda hacer sin pérdida de integridad.

Un DCE es cualquier dispositivo que transmite o recibe datos en forma de señal analógica o digital a través de una red.

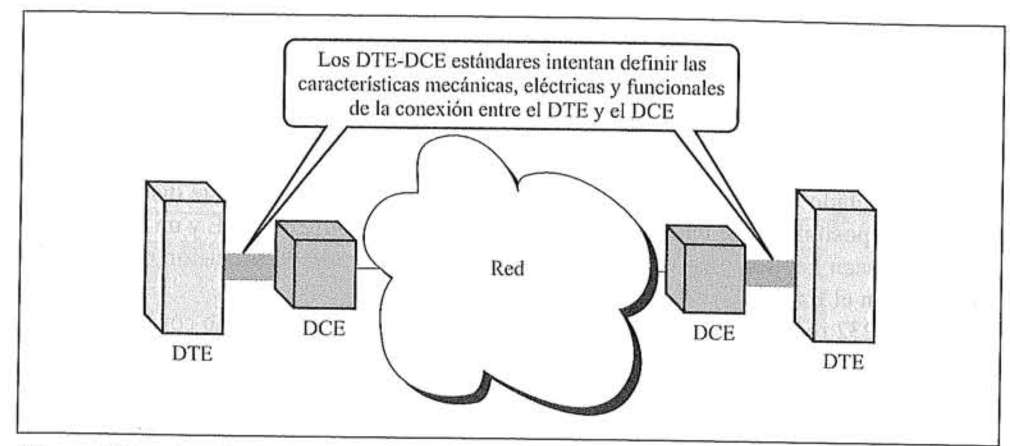


Figura 6.7. *Interfaz DTE-DCE.*

Estándares

A lo largo de los años, se han desarrollado muchos estándares para definir la conexión entre un DTE y un DCE (véase la Figura 6.7). Aunque sus soluciones son distintas, cada estándar proporciona un modelo para las características mecánicas, eléctricas y funcionales de la conexión.

De todas las organizaciones involucradas en la estandarización de la interfaz DTE-DCE, las más activas son la Asociación de Industrias Electrónicas (EIA, *Electronic Industries Association*) y la Unión Internacional de Telecomunicaciones-Comité de Estándares de Telecomunicación (ITU-T, *International Telecommunication Union-Telecommunications Standards Committee*). Los estándares de la EIA se denominan, bastante apropiadamente, EIA-232, EIA-442, EIA-449 y así. Los estándares de la ITU-T se denominan **serie V y serie X.**

La EIA y la ITU-T están involucradas en el desarrollo de los estándares de la interfaz DTE-DCE. Los estándares de la EIA se denominan EIA-232, EIA-442, EIA-449 y así. Los estándares de la ITU-T se denominan serie V y serie X.

Interfaz EIA-232

Una interfaz importante desarrollada por la EIA es la **EIA-232,** que define las características mecánicas, eléctricas y funcionales de la interfaz entre un DTE y un DCE. Publicado originalmente en el año 1962 como el estándar RS-232 (Estándar Recomendado), el EIA-232 ha sido revisado varias veces. La versión más reciente, el EIA-232-D, no solamente define el tipo de conectores a usar, sino también los cables y conectores específicos y la funcionalidad de cada patilla.

El EIA-232 (anteriormente llamado RS-232) define las características mecánicas, eléctricas y funcionales de la interfaz entre un DTE y un DCE.

Especificación mecánica

La especificación mecánica del estándar EIA-232 define la interfaz como un cable de 25 hilos con un conector de patillas DB-25 macho y uno hembra, respectivamente, en los extremos. La longitud del cable no puede exceder de 15 metros (cerca de 50 pies).

Un conector **DB-25** es un enchufe con 25 patillas o receptáculos, cada uno de los cuales está conectado a un único hilo y tiene una función específica. Con este diseño, la EIA ha creado la posibilidad de tener 25 interacciones separadas entre un DTE y un DCE. En la práctica se usan habitualmente menos, pero el estándar permite la inclusión de más funcionalidad en el futuro.

El EIA-232 recomienda un cable de 25 hilos terminado en un extremo con un conector macho y en el otro extremo por un conector hembra. El término *conector macho* se refiere al enchufe en el cual cada cable se conecta a un patilla. El término *conector hembra* se refiere a un receptáculo en el cual cada hilo del cable se conecta a un tubo de metal, o receptáculo. En el conector DB-25, estas patillas y tubos están colocados en dos filas, con 13 en la superior y 12 en la inferior.

Como se verá en la sección siguiente, hay otra implementación del EIA-232 que usa un cable de 9 hilos con un conector hembra y un conector macho de 9 patillas DB-9 añadido en cada extremo.

Especificación eléctrica

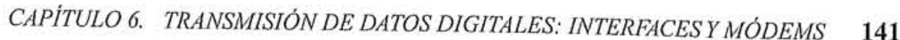
La especificación eléctrica del estándar define los niveles de voltaje y el tipo de señal a transmitir en cualquier dirección entre el DTE y el DCE.

Envío de datos. La especificación eléctrica para enviar datos se muestra en la Figura 6.8. El EIA-232 indica que todos los datos se deben transmitir como unos y ceros lógicos (denominados marca y espacio) usando codificación NRZ-L, con el cero definido como un voltaje positivo y el uno definido como un voltaje negativo. Sin embargo, más que definir un único rango acotado por la amplitud más alta y más baja, el EIA-232 define dos rangos distintos, uno para voltajes positivos y otro para negativos. Un receptor reconoce y acepta como una señal intencionada cualquier voltaje que caiga entre estos rangos, pero ninguno que caiga fuera de ellos. Para que sea reconocida como datos, la amplitud de una señal debe estar entre 3 y 15 voltios o entre –3 y –15 voltios. Permitiendo que las señales válidas estén dentro de dos rangos de 12 voltios, el EIA-232 hace improbable que la degradación de la señal por el ruido afecte a su reconocibilidad. En otras palabras, mientras que los pulsos caigan en uno de los rangos aceptables, la precisión del pulso no es importante.

La Figura 6.8 muestra una onda cuadrada degradada por el ruido a una forma curva. La amplitud del cuarto bit es más baja que la supuesta (comparada con la del segundo bit) y en lugar de permanecer en un único nivel de voltaje, cubre un rango de muchos voltajes. Si el receptor estuviera esperando un voltaje fijo, la degradación de este pulso lo habría hecho irrecuperable. El bit también habría sido irrecuperable si el receptor estuviera mirando solamente por aquellos pulsos que mantienen el mismo voltaje a lo largo de su duración.

Control y temporización

Solamente 4 hilos de los 25 disponibles en la interfaz EIA-232 se usan para las funciones de datos. Los 21 hilos restantes están reservados para funciones como control, temporización, tierra y pruebas. La especificación eléctrica de estos otros hilos es similar a la de los que



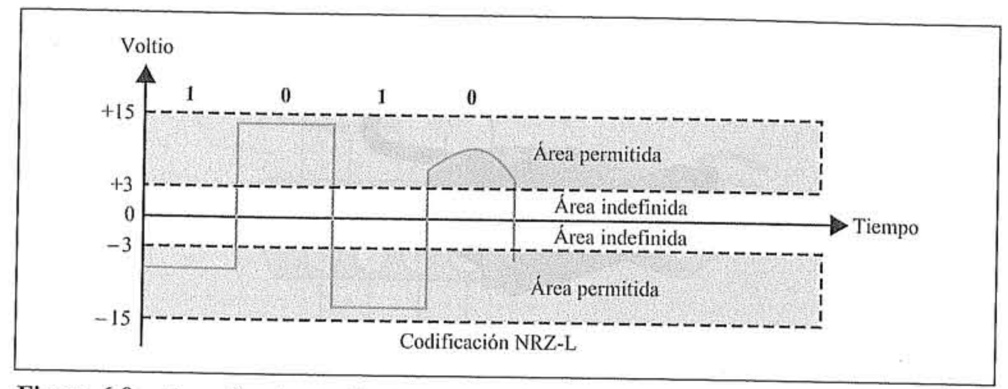


Figura 6.8. *Especificaciones eléctricas para envío de datos en el EIA-232.*

gobiernan la transmisión de datos, pero más sencilla. Cualquiera de ellas se considera a ON si transmite un voltaje de al menos +3 voltios y OFF si transmite un voltaje con un valor menor de –3 voltios.

> La especificación eléctrica del EIA-232 define que las señales distintas a las de datos deben enviarse usando OFF (menor que –3 voltios) y ON (mayor que +3 voltios).

La Figura 6.9 muestra una de estas señales. La especificación para la señal de control es conceptualmente inversa a la de la transmisión de datos. Un valor de voltaje positivo significa ON y negativo significa OFF. Observe también que OFF se sigue significando mediante la transmisión de un rango específico de voltaje. La ausencia de voltaje en uno de estos hilos mientras que el sistema está funcionando indica que algo está funcionando mal y no que la línea esté apagada.

Una última función importante de la especificación eléctrica es la definición de la tasa de bits. El EIA-232 permite una tasa de bits máxima de 20 Kbps, aunque en la práctica se suele obtener más.

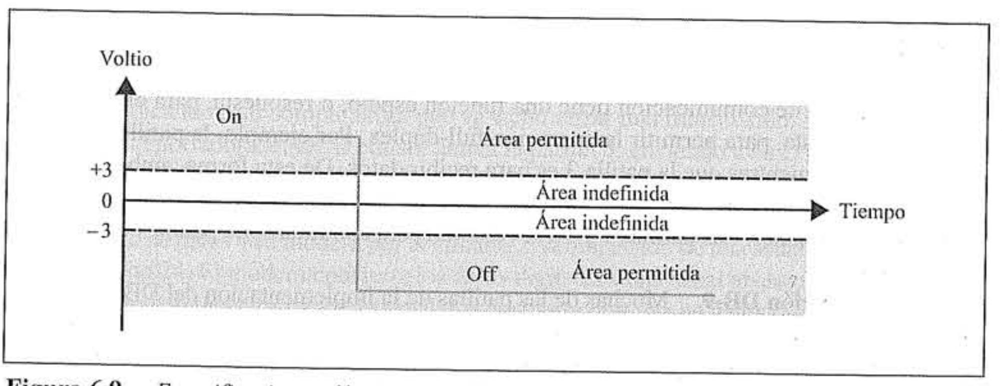


Figura 6.9. *Especificaciones eléctricas para las señales de control del EIA-232.*

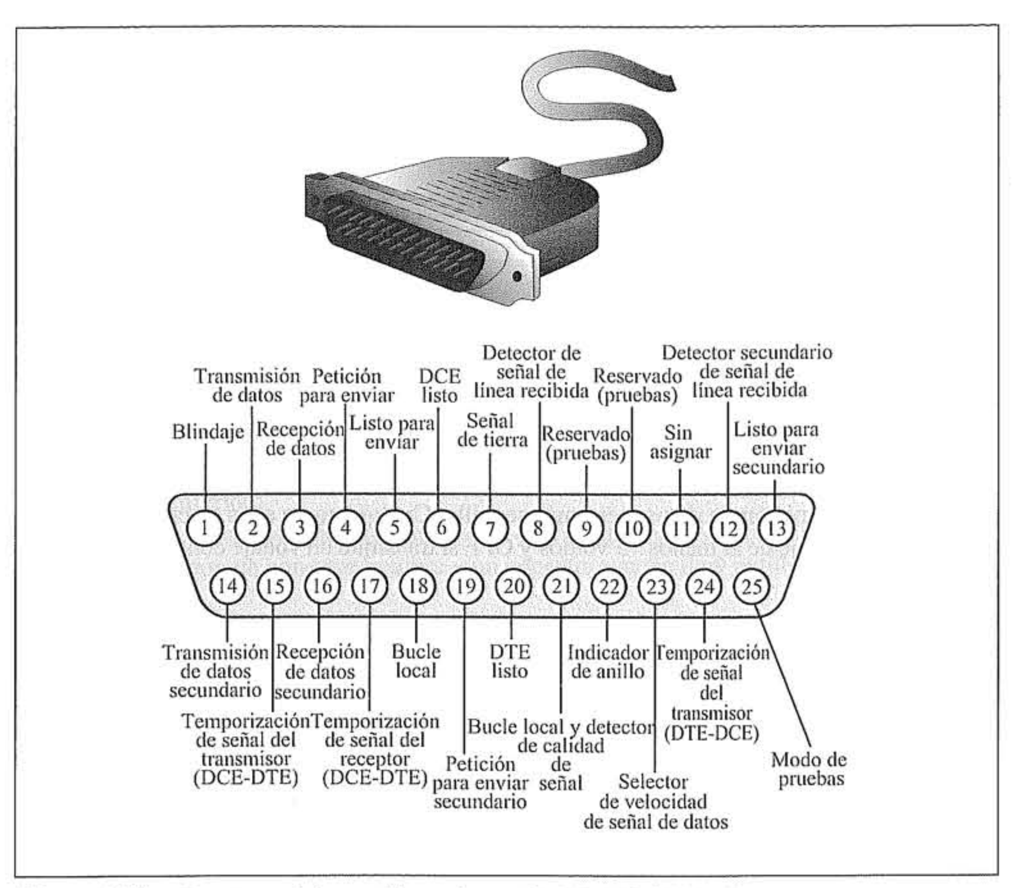


Figura 6.10. *Funciones de las patillas en la versión DB-25 del EIA-232.*

La especificación funcional

Hay disponibles dos implementaciones distintas del EIA-232: DB-25 y DB-9.

Implementación DB-25. El EIA-232 define las funciones asignadas a cada uno de las 25 patillas del conector DB-25. La Figura 6.10 muestra la orden y la funcionalidad de cada patilla de un conector macho. Recuerde que un conector hembra es una imagen en espejo del macho, de forma que la patilla 1 del enchufe se corresponde con el tubo 1 del receptáculo y así sucesivamente.

Cada función de comunicación tiene una función espejo, o respuesta, para el tráfico en la dirección opuesta, para permitir la operación full-dúplex. Por ejemplo, la patilla 2 es para transmitir datos, mientras que la patilla 3 es para recibir datos. De esta forma, ambos equipos pueden transmitir datos al mismo tiempo. Como se puede ver en la Figura 6.10, no todas las patillas son funcionales. Las patillas 9 y 10 se reservan para uso futuro. La patilla 11 está todavía sin asignar.

Implementación DB-9. Muchas de las patillas de la implementación del DB-25 no son necesarias en una conexión asíncrona sencilla. Por ello, se ha desarrollado una versión más sencilla del EIA-232 que solo usa 9 patillas, conocida como **DB-9** y mostrada en la Figura 6.11. Observe que no hay una relación patilla a patilla entre ambas implementaciones.

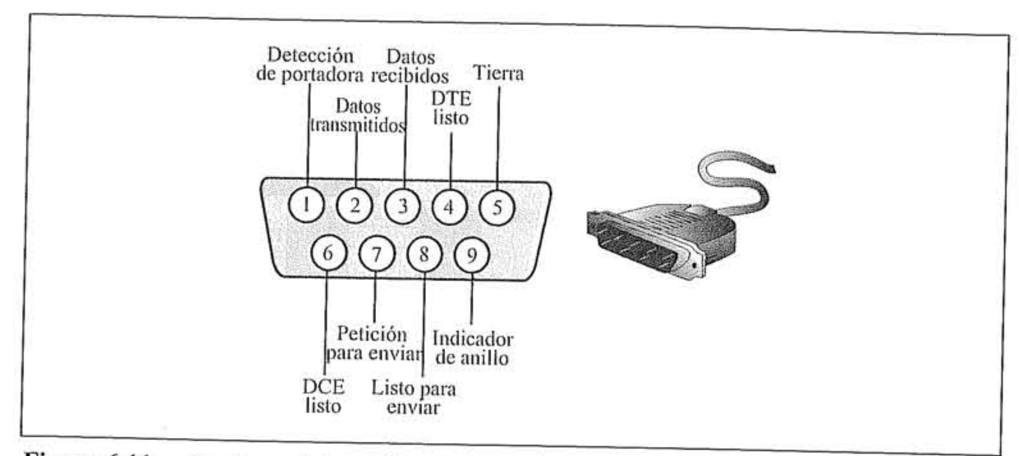


Figura 6.11. *Funciones de las patillas en la versión DB-9 del EIA-232.*

Un ejemplo

El ejemplo, que se presenta en la Figura 6.12, muestra el funcionamiento del EIA-232 en modo síncrono *full-dúplex* sobre una línea dedicada que usa solamente el canal primario. En este caso los DCE son módems y los DTE son computadoras. Hay cinco pasos distintos, desde la preparación hasta la terminación. Este es un modelo *full-dúplex*, por lo que ambos sistemas computadora/módem pueden transmitir datos concurrentemente. Sin embargo, en términos del modelo EIA siempre se puede clasificar un sistema como emisor y otro como receptor.

El paso 1 muestra la preparación de las interfaces para la transmisión. Los dos circuitos de tierra, 1 (blindaje) y 7 (señal de tierra), están activos entre ambas combinaciones de la computadora/módem emisora (izquierda) y la combinación de computadora/módem receptora (derecha).

El paso 2 asegura que los cuatro dispositivos están listos para la transmisión. En primer lugar, el DTE emisor activa la patilla 20 y envía un mensaje DTE listo a su DCE. El DCE responde activando la patilla 6 y devolviendo un mensaje DCE listo. Esta misma secuencia se lleva a cabo entre la computadora y el módem remoto.

El paso 3 establece la conexión física entre los módems emisor y receptor. Se podría pensar en este paso como la activación *on* de la transmisión. Es el primer paso que involucra a la red. Primero, el DTE emisor activa la patilla 4 y envía a su DCE un mensaje de petición-para-enviar. El DCE transmite una señal portadora al módem receptor. Cuando el módem receptor detecta la señal portadora, activa la patilla 8, que corresponde al detector de señal de línea recibida, indicando a su computadora que va a comenzar una transmisión. Después de transmitir la señal portadora, el DCE emisor activa la patilla 5, enviando a su DTE un mensaje de listo-para-enviar. La computadora y el módem remoto hacen lo mismo.

El paso 4 es el procedimiento de la transferencia de datos. La computadora emisora transfiere su flujo de datos a su módem por el circuito 2, acompañado de una señal de temporización por el circuito 24. El módem convierte los datos digitales a una señal analógica y los envía por la red. El módem receptor recibe la señal, los convierte otra vez en datos digitales y los pasa a su computadora a través del circuito 3, junto con el pulso de temporización por el circuito 17.

La computadora receptora sigue en todo momento el mismo procedimiento para enviar datos a la computadora emisora.

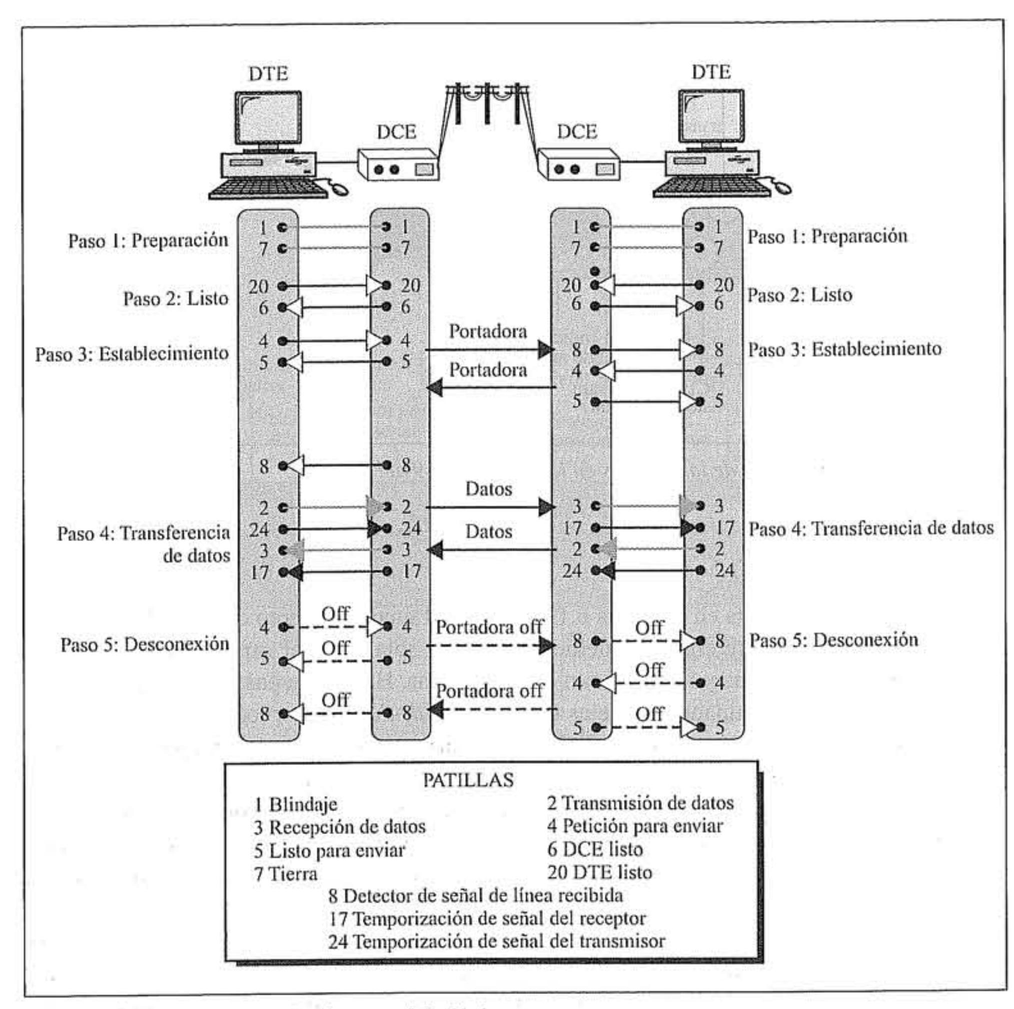
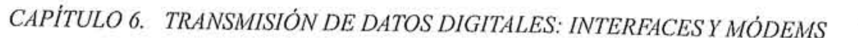


Figura 6.12. *Transmisión síncrona full-dúplex.*

Una vez que ambos lados han completado sus transmisiones, ambas computadoras desactivan los circuitos petición-para-enviar; los módems desconectan sus señales portadoras, sus detectores de señal de línea recibida (no hay ya ninguna línea para detectar) y sus circuitos listo-para-enviar (paso 5).

Módem nulo

Suponga que necesita conectar dos DTE en el mismo edificio, por ejemplo dos estaciones de trabajo o un terminal a una estación de trabajo. No es necesario usar módems para conectar directamente dos equipos digitales compatibles; la transmisión no tiene que cruzar líneas analógicas, como las líneas telefónicas, y por tanto no necesita ser modulada. Pero es necesario tener una interfaz para gestionar el intercambio (establecimiento de conexión, transferencia de datos, recepción, etc.) de la misma forma que lo hace un cable DTE-DCE del EIA-232.



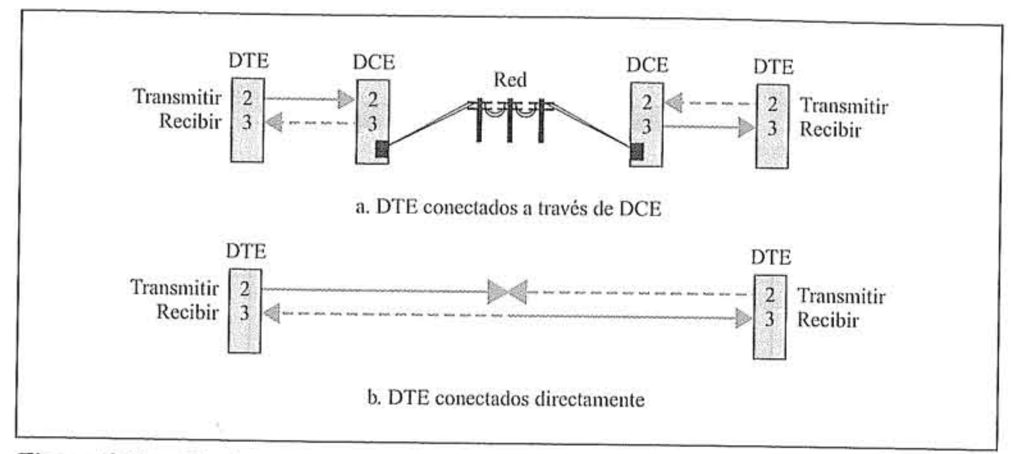


Figura 6.13. *Uso de conexiones con las patillas de datos regulares con y sin DCE.*

La solución, propuesta por el estándar de la EIA, se denomina **módem nulo**. Un módem nulo proporciona la interfaz DTE-DTE sin DCE. ¿Por qué usar un módem nulo? Si todo lo que se necesita es la interfaz ¿por qué no usar un cable estándar EIA-232? Para comprender el problema, examine la Figura 6.13. La parte *a* muestra una conexión que usa una red telefónica. Los dos DTE están intercambiando información a través de DCE. Cada DTE envía sus datos a través de la patilla 2 y el DCE los recibe en su patilla 2; y cada DTE recibe a través de la patilla 3 los datos que han sido enviados por su DCE usando su propia patilla 3. Como se puede ver, el cable EIA-232 conecta la patilla 2 del DTE a la patilla 2 del DCE y la patilla 3 del DCE a la patilla 3 del DTE. El tráfico que usa la patilla 2 es siempre de salida del DTE. El tráfico que usa la patilla 3 es siempre de entrada al DTE. Un DCE reconoce la dirección de una señal y la pasa al circuito adecuado.

La parte *b* de la figura muestra qué pasa cuando se usa la misma conexión entre dos DTE. Sin un DTE que conmute las señales de o hacia las patillas apropiadas, ambos DTE intentan transmitir sobre el mismo hilo de la patilla 2 y recibir sobre el mismo hilo de la patilla 3. Cada DTE está transmitiendo a la patilla de transmisión del otro, no a su patilla receptora. El circuito de recepción (3) no hace nada porque ha sido completamente aislado de la transmisión. El circuito de transmisión (2) acaba teniendo ruido de colisiones y señales que no pueden ser nunca recibidas en los DTE. No es posible establecer una comunicación de datos de un dispositivo a otro.

Conexiones cruzadas. Para que sea posible realizar la transmisión, es necesario cruzar los cables de forma que la patilla 2 del primer DTE se conecte con la patilla 3 del segundo DTE y la patilla 2 del segundo DTE se conecte con la patilla 3 del primero. Estas dos patillas son las más importantes. Sin embargo, varias de los otras tendrían problemas similares y también necesitarían ser recableadas (véase la Figura 6.14).

Un módem nulo es una interfaz EIA-232 que completa los circuitos necesarios para hacer que los DTE de los extremos crean que tienen un DCE y una red entre ellos. Debido a que su propósito es establecer las conexiones, un módem nulo puede ser tanto un cable como un dispositivo o incluso lo puede construir usted mismo usando un cable EIA-232 estándar y una caja de conexión que le permita cruzar los cables directamente de la forma que desee. De todas estas opciones, el cable es la más habitualmente usada y la más conveniente (véase la Figura 6.14).

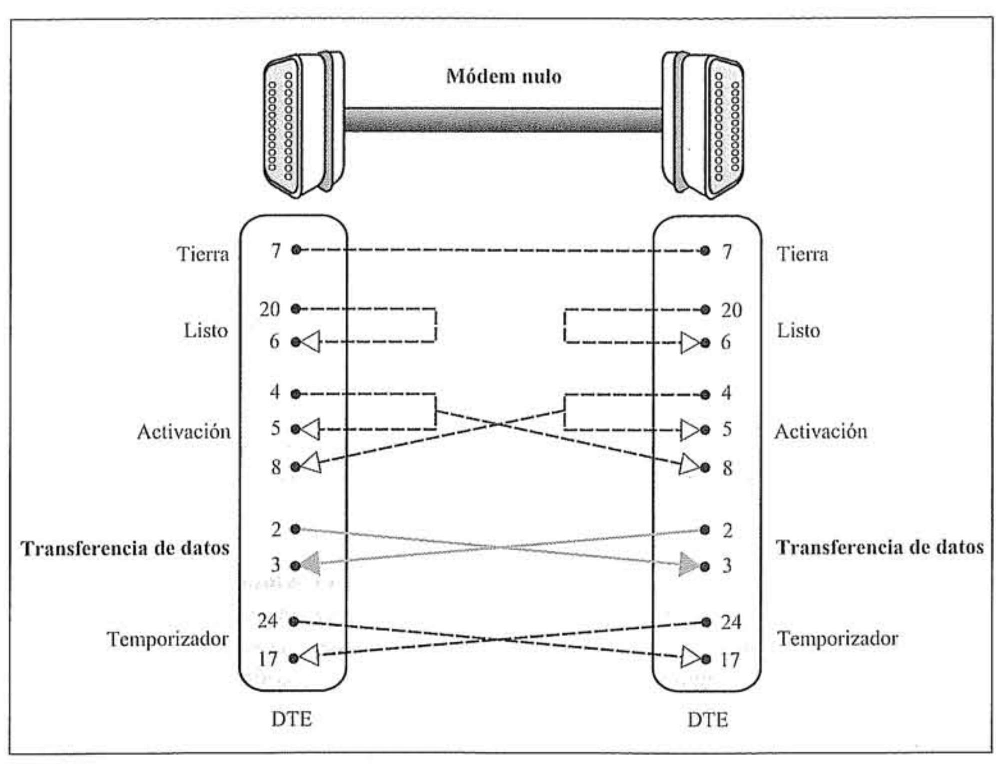


Figura 6.14. *Conexiones de las patillas de un módem nulo.*

Otras diferencias. Mientras que el cable de la interfaz del DTE-DCE en el EIA-232 tiene un conector hembra en el extremo del DTE y un conector macho en el extremo del DCE, un módem nulo tiene conectores hembra en ambos extremos para permitir la conexión a los puertos del DTE del EIA-232, que son machos.

6.3. OTROS ESTÁNDARES DE INTERFACES

EIA-232 restringe tanto la tasa de datos como la longitud del cable (capacidad de enviar una señal a distancia): la tasa de datos a 20 Kbps y la longitud del cable a 50 pies (15 metros). Para satisfacer las necesidades de los usuarios que necesitan más velocidad y/o distancia, la EIA y la ITU-T crearon estándares de interfaz adicionales: EIA-449, EIA-530 y X.21.

EIA-449

Las especificaciones mecánicas del **EIA-449** definen una combinación de dos conectores: uno con 37 patillas (**DB-37**) y otro con 9 patillas (**DB-9**), para obtener un conector combinado de 46 patillas (véase la Figura 6.15).

Las especificaciones funcionales del EIA-449 definen las propiedades de las patillas del DB-37 similares a las del DB-25. La principal diferencia funcional entre los conectores de 25 y 37 patillas es que todas las funciones relativas al canal secundario se han eliminado del conector DB-37. Debido a que el canal secundario se usa muy raramente, el EIA-449 ha eliminado estas funciones y las ha puesto en el segundo conector de 9 patillas (DB-9). De esta forma, hay un segundo canal disponible para aquellos sistemas que lo necesiten.

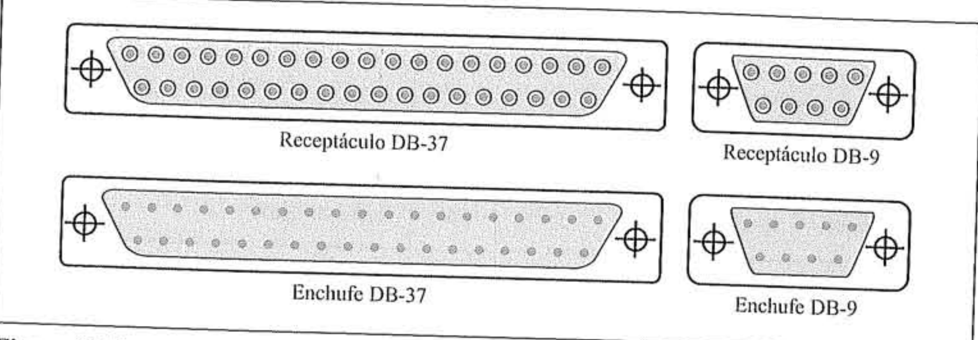


Figura 6.15. *DB del EIA-449.*

Funciones de las patillas del DB-37

Para mantener la compatibilidad con el EIA-232, el EIA-449 define dos categorías de patillas que se pueden usar en el intercambio de datos, control e información de temporización (véase la Tabla 6.1).

Tabla 6.1. *Patillas DB-37*

Patilla	*Función*	*Categoría*	*Patilla*	*Función*	*Categoría*
1	Blindaje		20	Referencia de recepción	II
2	Indicador tasa de señal		21	Sin asignar	I
3	Sin asignar		22	Envío de datos	I
4	Envío de datos	I	23	Temporización de envío	I
5	Temporización de envío	I	24	Recepción de datos	I
6	Recepción de datos	I	25	Petición de envío	I
7	Petición de envío	I	26	Temporización de recepción	I
8	Temporización de recepción	I	27	Listo para enviar	I
9	Listo para enviar	I	28	Terminal en servicio	II

Tabla 6.1. *Patillas DB-37* (continuación)

Patilla	*Función*	*Categoría*	*Patilla*	*Función*	*Categoría*
10	Bucle local	II	29	Modo de datos	I
11	Modo de datos	I	30	Terminal listo	I
12	Terminal listo	I	31	Listo para recibir	I
13	Listo para recibir	I	32	Espera seleccionada	II
14	Bucle remoto	II	33	Calidad de señal	
15	Llamada entrante		34	Señal nueva	II
16	Selección de frecuencia	II	35	Temporización de terminal	I
17	Temporización de terminal	I	36	Indicador de espera	II
18	Modo de prueba	II	37	Referencia de envío	II
19	Señal de tierra				

Patillas de categoría I

La categoría I incluye aquellas patillas cuyas funciones son compatibles con el EIA-232 (aunque la mayoría han sido renombrados). Para cada patilla de categoría I, el EIA-449 define dos patillas, una para la primera columna y una para la segunda columna. Por ejemplo, tanto la patilla 4 como la 22 se llaman envío de datos. Estas dos patillas tienen una funcionalidad equivalente a la patilla 2 en EIA-232. Tanto la patilla 5 como la 23 se denominan envío de temporización y la 6 y la 24 se llaman recepción de datos. Incluso algo más interesante a observar es que estos pares de patillas son verticalmente adyacentes entre sí en el conector, con la patilla de la segunda columna ocupando básicamente la posición que está debajo de su contraparte en la primera columna (numere el conector del DB-37 basándose en la numeración del conector DB-25 para ver estas relaciones). Esta estructura es lo que hace tan potente al EIA-449. Cómo se relacionan las patillas entre sí se verá mejor posteriormente en esta sección, cuando se traten los dos métodos alternativos de señalización definidos en las especificaciones eléctricas.

Patillas de categoría II

Las patillas de categoría II son aquellas que no tienen un equivalente en EIA-232 o que han sido redefinidas. Los números y las funciones de las nuevas patillas son los siguientes:

- **Bucle local.** La patilla 10 se usa para probar el bucle local.
- **Bucle remoto.** La patilla 14 se usa para probar el bucle remoto.

- **Selección de frecuencia.** La patilla 16 se usa para elegir entre dos tasas de frecuencia distintas.
- **Modo de prueba.** La patilla 18 se usa para probar a distintos niveles.
- **Referencia común de recepción.** La patilla 20 proporciona una línea de retorno de señal común para los circuitos desbalanceados que van del DCE al DTE.
- **Terminal en servicio.** La patilla 28 indica al DCE si el DTE está o no operacional.
- **Selección de equipo suplente.** La patilla 32 permite al DTE solicitar el uso de un equipo en espera en caso de fallo.
- **Nueva señal.** La patilla 34 está disponible para aplicaciones multipunto en las cuales un DTE primario controla varios DTE secundarios. Cuando se activa, la patilla 34 indica que un DTE ha terminado su intercambio de datos y que otro va a empezar.
- **Indicador de equipo suplente.** La patilla 36 proporciona la señal de confirmación del DCE en respuesta a una selección en espera (patilla 32).
- **Referencia común de envío.** La patilla 37 proporciona una línea de retorno de señal común para los circuitos no balanceados del DTE al DCE.

Funciones de las patillas del DB-9

La Tabla 6.2 muestra las funciones de las patillas del conector DB-9. Observe que el conector DB-9 es aquí distinto del que se trató en el EIA-232.

Especificaciones eléctricas: RS-423 y RS-422

El EIA-449 usa dos estándares para definir sus especificaciones eléctricas: RS-423 (para circuitos sin balancear) y RS-422 (para circuitos balanceados).

Tabla 6.2. *Patillas del DB-9*

Patilla	*Función*
1	Blindaje
2	Secundario listo para recibir
3	Envío de datos al secundario
4	Recepción de datos del secundario
5	Señal de tierra
6	Referencia de recepción
7	Petición para enviar al secundario
8	Listo para enviar al secundario
9	Referencia común de envío

Distancia	Tasa de datos
40 ft	100 Kbps
4000 ft	1 Kbps

NRZ-L
Retorno común
+6
+2
0
−2
−6
0 lógico
1 lógico

Figura 6.16. *RS-423: Modo desbalanceado.*

RS-423: Modo desbalanceado

El **RS-423** es una especificación de circuito sin balancear, lo que significa que define solamente una línea para propagar una señal. Todas las señales de este estándar usan un retorno común (o tierra) para completar el circuito. La Figura 6.16 da una visión conceptual de este tipo de circuito así como las especificaciones del estándar. En el modo de circuito desbalanceado, el EIA-449 indica que hay que usar únicamente la primera patilla de cada par de patillas de Categoría I y todas las patillas de la Categoría II.

RS-422: Modo balanceado

El **RS-422** es una especificación de circuito balanceado, lo que significa que define dos líneas para la propagación de cada señal. De nuevo, las señales usan un retorno común (o tierra) para el retorno de la señal. La Figura 6.17 da una visión conceptual de las especificaciones para este estándar. En el modo balanceado, el EIA-449 usa todos los pares de patillas de

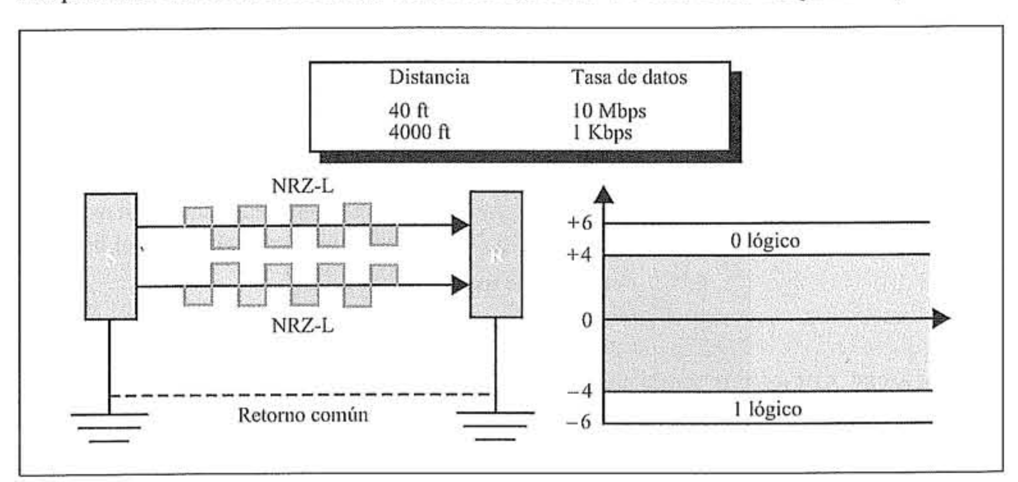


Figura 6.17. *RS-422: Modo balanceado.*

la Categoría I, pero no usa las patillas de Categoría II. Como se puede ver en las especificaciones eléctricas de este estándar, la proporción de tasa de datos a distancia es mucho mayor que la del estándar desbalanceado o el EIA-232: 10 Mbps para transmisiones a 40 pies.

En el modo balanceado, dos líneas llevan la misma transmisión. Sin embargo, no llevan señales idénticas. La señal de una línea es el complemento de la señal en la otra. Cuando se dibuja, el complemento parece como una imagen simétrica de la señal original (véase la Figura 6.17). En lugar de escuchar a cualquiera de las señales reales, el receptor detecta las diferencias entre las dos. Este mecanismo hace que un circuito balanceado sea menos susceptible al ruido que un circuito sin balancear y mejora su rendimiento.

A medida que las señales complementarias llegan al receptor, se pasan a través de un sustractor (un amplificador diferencial). Este mecanismo resta la segunda señal de la primera antes de interpretarla. Debido a que ambas señales son complementarias, el resultado de la resta es el doble del valor de la primera señal. Por ejemplo, si en un momento determinado la primera señal tiene un voltaje de 5, la segunda señal tendrá un voltaje de −5. Por tanto, el resultado de la resta es 5 −(−5), lo que es igual a 10.

Si la transmisión tiene ruido, éste afecta a ambas señales de la misma forma (el ruido positivo afecta a ambas señales positivamente; el ruido negativo afecta a ambas señales negativamente). Como resultado, se elimina el ruido durante el proceso de sustracción (véase la Figura 6.18). Por ejemplo, supongamos que se han introducido 2 voltios de ruido en el punto donde la primera señal es de 5 voltios y su complemento es de −5 voltios. La adición distorsiona la primera señal a 7 voltios y la segunda a −3 voltios. 7−(−3) sigue siendo igual a 10. Es esta habilidad de neutralizar los efectos del ruido lo que permite que la transmisión balanceada pueda funcionar con tasas de datos más alta.

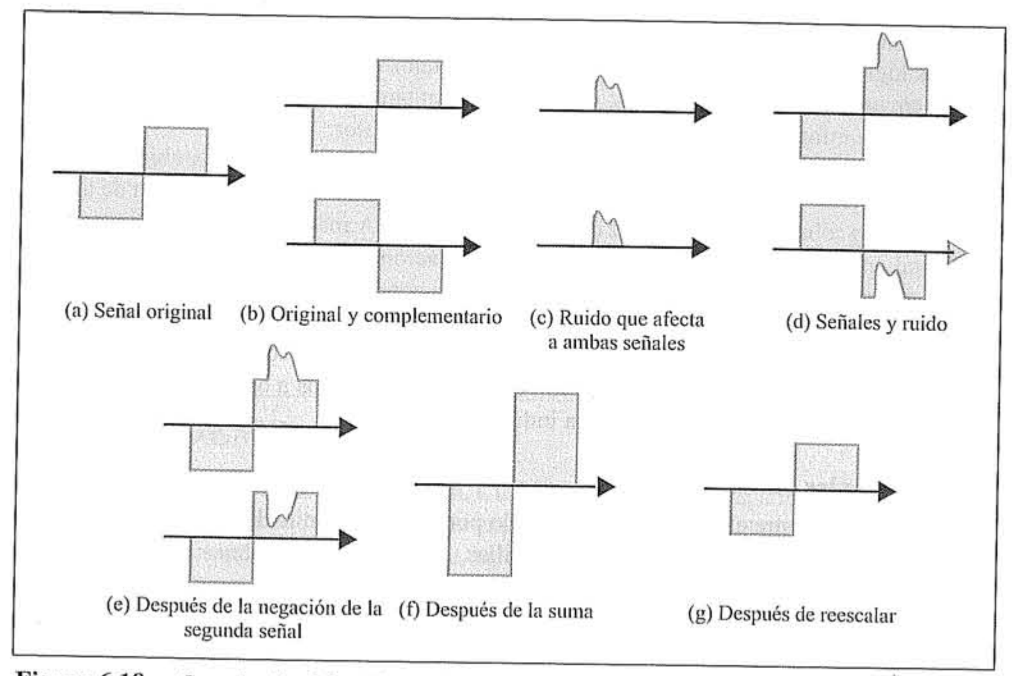


Figura 6.18. *Cancelación del ruido en el modo balanceado.*

EIA-530

El EIA-449 proporciona mucha mejor funcionalidad que el EIA-232. Sin embargo, necesita un conector DB-37, que la industria ha sido reluctante a adoptar debido a la cantidad de inversión ya realizada en el DB-25. A pesar de ello, para mejorar la aceptación del nuevo estándar, el EIA desarrolló una versión del EIA-449 que usa patillas DB-25: el **EIA-530.**

Las funciones de las patillas del EIA-530 son esencialmente las del EIA-449 Categoría I más 3 patillas de la Categoría II (los circuitos de bucle). Se han omitido algunos de las patillas del EIA-232, incluyendo los indicadores de anillo, el detector de calidad de señal y el selector de tasa de datos de la señal. El EIA-530 tampoco soporta un circuito secundario.

X.21

La **X.21** es una interfaz estándar diseñada por la ITU-T para resolver muchos de los problemas existentes en las interfaces EIA y, al mismo tiempo, preparar el camino para las comunicaciones completamente digitales.

Uso de circuitos de datos para control

Una gran proporción de los circuitos de las interfaces del EIA se usa para control. Estos circuitos son necesarios porque los estándares implementan funciones de control como señales separadas. En una línea especial, la información de control se representa solamente por voltajes positivos y negativos. Pero, si las señales de control se codifican usando caracteres de control significativos de un sistema como el ASCII, se pueden transmitir a través de las líneas de datos.

Por esta razón, el X.21 elimina la mayor parte de los circuitos de control existentes en los estándares del EIA y, en su lugar, redirige su tráfico a los circuitos de datos. Para hacer posible la consolidación de esta funcionalidad, tanto el DTE como el DCE necesitan añadir circuitos lógicos que les permitan transformar los códigos de control en flujos de bits que se puedan enviar por las líneas de datos. Ambos necesitan también lógica adicional para discriminar entre la información de control y los datos en el receptor.

Este diseño permite que el X.21 no sólo use menos patillas, sino que también se pueda usar para las telecomunicaciones digitales donde la información de control se envía de un dispositivo a otro sobre una red en lugar de usar DTE y DCE. A medida que emerge la tecnología digital, es necesario gestionar más y más información de control, incluyendo marcado, remarcado, espera, etc. X.21 es útil como interfaz para conectar computadoras digitales a dispositivos analógicos, tales como módems, y como un conector entre computadoras digitales e interfaces digitales tales como RDSI y X.25, que se describen en los Capítulos 16 y 17.

X.21 ha sido diseñado para trabajar con circuitos balanceados a 64 Kpbs, una velocidad que se ha convertido en un estándar de la industria.

Funciones de las patillas

La Figura 6.19 muestra el conector especificado por X.21, denominado **DB-15.** Como indica su nombre, el DB-15 es un conector de 15 patillas.

- **Temporización de Byte.** Otra ventaja que ofrece X.21 es que existen líneas de temporización para controlar la sincronización de bytes, además de la sincronización a nivel de bit propuesta por los estándares de la EIA. X.21 mejora la sincronización global de las transmisiones añadiendo un pulso de temporización de byte (patillas 7 y 14).

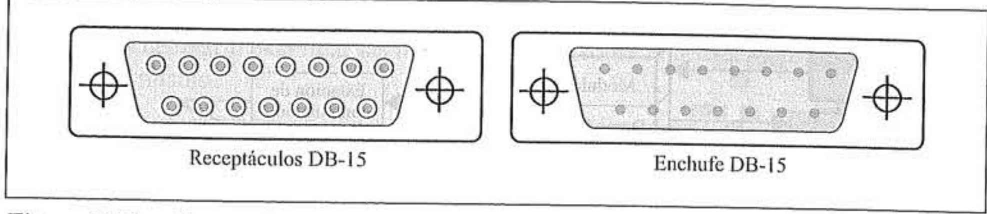


Figura 6.19. *Conector DB-15.*

- **Control e inicio.** Las patillas 3 y 5 del conector DB-15 se usan para el saludo inicial, o acuerdo, antes de empezar a transmitir. La patilla 3 es equivalente al de petición de envío. La patilla 5 es equivalente al de listo para enviar. La Tabla 6.3 muestra las funciones de cada patilla.

Tabla 6.3. *Patillas del DB-15*

Patilla	*Función*	*Patilla*	*Función*
1	Blindaje	9	Transmisión de datos o de control
2	Transmisión de datos o de control	10	Control
3	Control	11	Recepción de datos o de control
4	Recepción de datos o de control	12	Indicación
5	Indicación	13	Señal de temporización de elementos
6	Señal de temporización de elementos	14	Temporización de byte
7	Temporización de byte	15	Reservado
8	Señal de tierra		

6.4. MÓDEMS

El tipo más familiar de DCE es un **módem.** Cualquiera que haya navegado por Internet, accedido a una computadora de la oficina desde casa o rellenado un formulario a través de un procesador de texto usando la línea telefónica, ha usado un módem. El módem interno o externo asociado con su computadora personal es lo que convierte la señal digital generada por la computadora en una señal analógica que se puede transportar por las líneas telefónicas públicas. También, es el dispositivo que convierte las señales analógicas recibidas de la línea telefónica en señales digitales que se pueden usar en su computadora.

Figura 6.20. *Concepto de módem.*

El término *módem* es una palabra compuesta que indica las dos entidades funcionales que componen el dispositivo: un *modulador* de señal y un *demodulador* de señal. La relación entre las dos partes se muestra en la Figura 6.20.

> Módem significa modulador/demodulador.

Un **modulador** convierte una señal digital en una señal analógica usando ASK, FSK, PSK o QAM. Un demodulador convierte una señal analógica en una señal digital. A pesar de que el demodulador recuerda un conversor analógico-a-digital, no es un conversor de ningún tipo. No ha muestreado una señal para crear un equivalente digital; solamente revierte el proceso de **modulación,** es decir, realiza la **demodulación.**

> Un modulador convierte una señal digital en una señal analógica. Un demodulador convierte una señal analógica en una señal digital.

La Figura 6.20 muestra la relación entre módems de un enlace de comunicación. Las dos PC en los extremos son los DTE; los módems son los DCE. El DTE crea una señal digital y se la entrega al módem a través de una interfaz (como la EIA-232 vista anteriormente). La señal modulada es recibida por la función de demodulación del segundo módem. El demodulador toma la señal ASK, FSK, PSK o QAM y la decodifica en un formato que sea aceptable para su computadora. A continuación entrega la señal digital resultante a la computadora receptora a través de su interfaz. Cada DCE debe ser compatible tanto con su propio DTE como con otros DCE.

Tasa de transmisión

Probablemente habrá oído describir a los módems como de alta velocidad o de baja velocidad para indicar la cantidad de bits por segundo que un dispositivo específico es capaz de transmitir o recibir. Pero antes de hablar sobre los distintos módems comerciales y sus tasas de datos, es necesario examinar las limitaciones que sobre la tasa de transmisión impone el medio en sí mismo.

Ancho de banda

El concepto de ancho de banda se definió al final del Capítulo 4. Ahora se puede aplicar este concepto al medio físico para ver sus efectos sobre la transmisión. La tasa de datos de un enlace depende del tipo de codificación usado y del ancho de banda del medio. El **ancho de banda del medio** está relacionado con la limitación inherente de las propiedades físicas del medio; cada línea tiene un rango de frecuencias que puede transmitir. Si la frecuencia de una señal es demasiado baja, puede saturar la capacitancia de la línea. Si es demasiado alta, puede ser obstaculizada por la inductancia de la línea. Por tanto, se puede decir que cada línea tiene un límite superior y un límite inferior para las frecuencias de las señales que puede transportar. Este rango limitado es lo que se denomina el ancho de banda.

> Cada línea tiene un límite superior y un límite inferior para las frecuencias de las señales que puede transportar. Este rango limitado es lo que se denomina ancho de banda.

Las líneas telefónicas tradicionales pueden transportar frecuencias entre 300 Hz y 3.300 Hz, lo que les da un ancho de banda de 3.000 Hz. Todo este rango se usa para transmitir voz, por lo que se puede permitir un alto grado de distorsión sin que haya pérdida de inteligibilidad. Sin embargo, como se ha visto, las señales de datos requieren un grado más alto de exactitud para asegurar la integridad. Por tanto, en aras de la seguridad, los bordes del rango no se usan para comunicación de datos. En general, se puede decir que el ancho de banda de la señal debe ser más pequeño que el ancho de banda del cable. El ancho de banda efectivo de una línea telefónica usada para transmisión de datos es 2.400 Hz, que cubre el rango desde los 600 Hz a los 3.000 Hz. Observe que algunas líneas telefónicas actuales son capaces de manejar un ancho de banda mayor que las líneas tradicionales. Sin embargo, el diseño de los módems se basa todavía en su capacidad tradicional (véase la Figura 6.21).

> Una línea telefónica tiene un ancho de banda de casi 3.000 Hz.

Velocidad del módem

Como se ha visto, cada equipo de conversión analógica manipula la señal de forma distinta: ASK manipula la amplitud, FSK manipula la frecuencia, PSK manipula la fase y QAM manipula tanto la fase como la amplitud.

ASK. Como recordará del Capítulo 5, el ancho de banda necesario para las transmisiones con ASK es igual a la tasa de baudios de la señal. Asumiendo que todos los enlaces se usan para una única señal, como sería para las transmisiones simples o semidúplex, la máxima tasa de baudios para la modulación ASK es igual al ancho de banda total del medio de transmisión. Debido a que el ancho de banda efectivo de una línea telefónica es 2.400 Hz, la máxima tasa de baudios es también 2.400. Y debido a que la baudios y la tasa de bits son las mismas en la modulación ASK, la tasa de bits máxima es también 2.400 (véase la Figura 6.22).

En las transmisiones dúplex, sólo se puede usar la mitad del ancho de banda total en cada dirección. Por tanto, la máxima velocidad para la transmisión ASK en modo dúplex es 1.200

Usado para voz
Usado para datos
300
600
3.000
3.300
2.400 Hz para datos
3.000 Hz para voz

Figura 6.21. *Ancho de banda de la línea telefónica.*

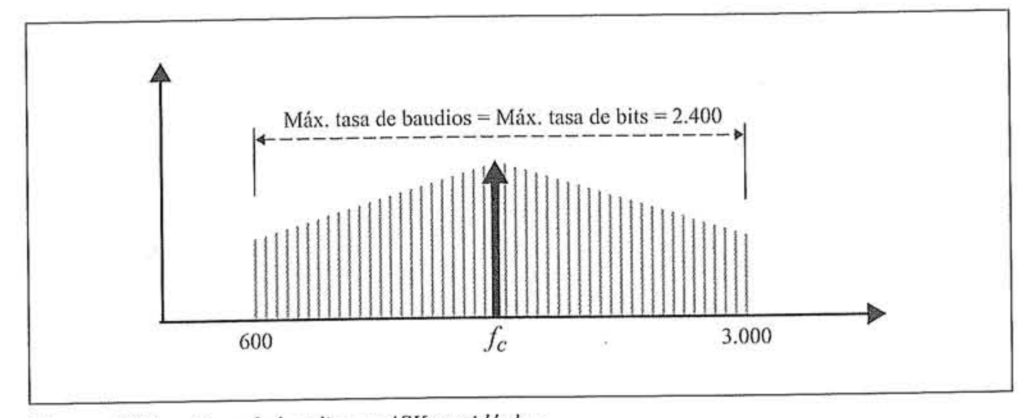


Figura 6.22. *Tasa de baudios en ASK semidúplex.*

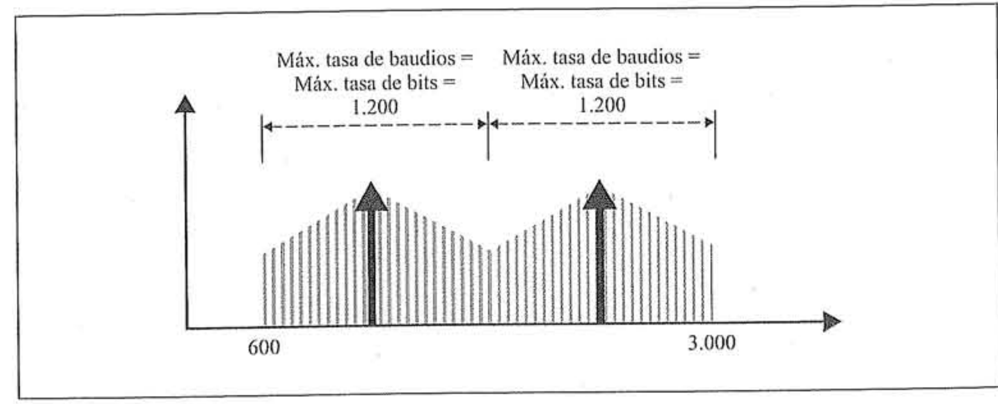


Figura 6.23. *Tasa de baudios en ASK dúplex.*

bps. La Figura 6.23 muestra esta relación. El ancho de banda total disponible es 2.400 Hz; cada dirección tiene por tanto disponibles 1.200 Hz centrados alrededor de su propia frecuencia portadora. (Nota: algunas especificaciones de módem indican semidúplex mediante la abreviatura *HDX* y dúplex mediante la abreviatura *FDX*.)

Aunque la tasa de bits de ASK es igual que la de los tipos más populares de modulación, sus problemas de ruido la hacen impracticable para su uso en los módems.

> Aunque ASK tiene una buena tasa de bits, no se usa actualmente debido al ruido.

FSK. Como recordará del Capítulo 5, el ancho de banda necesario para una transmisión FSK es igual a la tasa de baudios de la señal más el desplazamiento de frecuencia. Asumiendo que se usa todo el enlace para una única señal, como ocurriría en la transmisión símplex o semidúplex, la tasa de baudios máxima para la modulación FSK es igual al ancho de banda total del medio de transmisión menos el desplazamiento de frecuencia. Debido a que el ancho de banda efectivo de una línea telefónica es 2.400 Hz, la tasa de baudios máxima es, por tanto, 2.400 menos el desplazamiento de la frecuencia. Y debido a que la tasa de baudios y la tasa de bits son la misma en la modulación FSK, la tasa de bits máxima es también 2.400 menos el desplazamiento de frecuencia (véase la Figura 6.24).

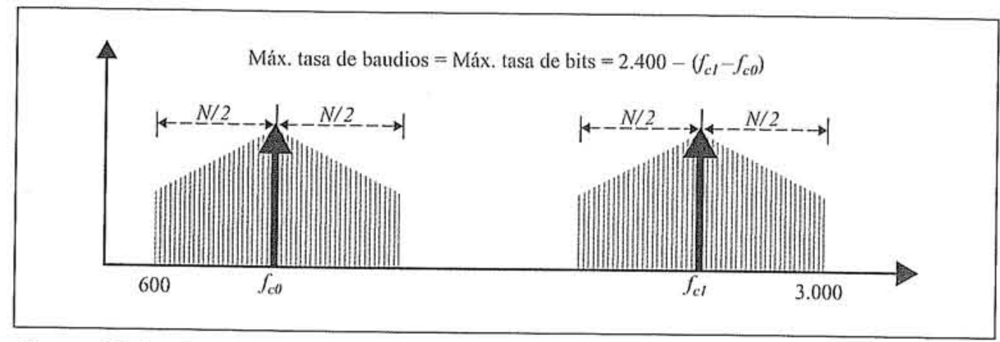


Figura 6.24. *Tasa de baudios en FSK semidúplex.*

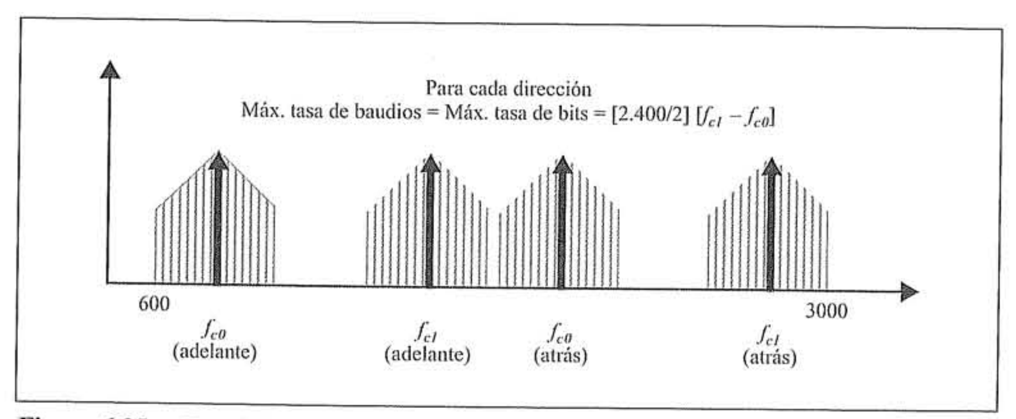


Figura 6.25. *Tasa de baudios en FSK dúplex.*

En la transmisión dúplex, solamente se usa la mitad del ancho de banda total del enlace para cada dirección. Por tanto, la máxima tasa teórica para FSK en modo dúplex es la mitad del ancho de banda total menos la mitad del desplazamiento de frecuencia. Las particiones FSK en modo dúplex se muestran en la Figura 6.25.

PSK y QAM. Como recordará, el ancho de banda mínimo necesario para la transmisión con PSK o QAM es el mismo que el necesario para la transmisión con ASK, pero la tasa de bits puede ser mayor dependiendo del número de bits que se pueden representar con cada unidad de señal.

Comparación. La Tabla 6.4 resume la tasa de bits máxima sobre líneas telefónicas estándares de par trenzado para cada uno de los mecanismos de modulación examinados anteriormente. Estas figuras asumen una línea tradicional bifilar. Si se usan líneas de cuatro cables, la tasa de datos para la transmisión dúplex puede ser el doble. En este caso, dos cables se usan para enviar y dos cables para recibir los datos, consiguiendo por tanto doblar el ancho de banda disponible. Sin embargo, estos números son teóricos y no siempre pueden ser logrados con la tecnología disponible.

Tabla 6.4. *Tasa de bits teóricas para los módems*

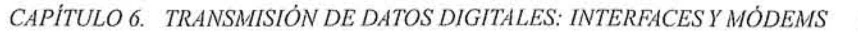
Modulación	*Semidúplex*	*Dúplex*
ASK	2.400	1.200
FSK	<2.400	<1.200
2-PSK	2.400	1.200
4-PSK, 4-QAM	4.800	2.400
8-PSK, 8-QAM	7.200	3.600
16-QAM	9.600	4.800
32-QAM	12.000	6.000
64-QAM	14.400	7.200
128-QAM	16.800	8.400
256-QAM	19.200	9.600

Estándares para módems

En esta sección se van a presentar dos estándares para módems: **módem Bell** y módem ITU-T.

Módems Bell

Los primeros módems comerciales fueron fabricados por la Compañía Telefónica Bell a principios de 1970. Como primer y, durante largo tiempo, único fabricante en el mercado, Bell



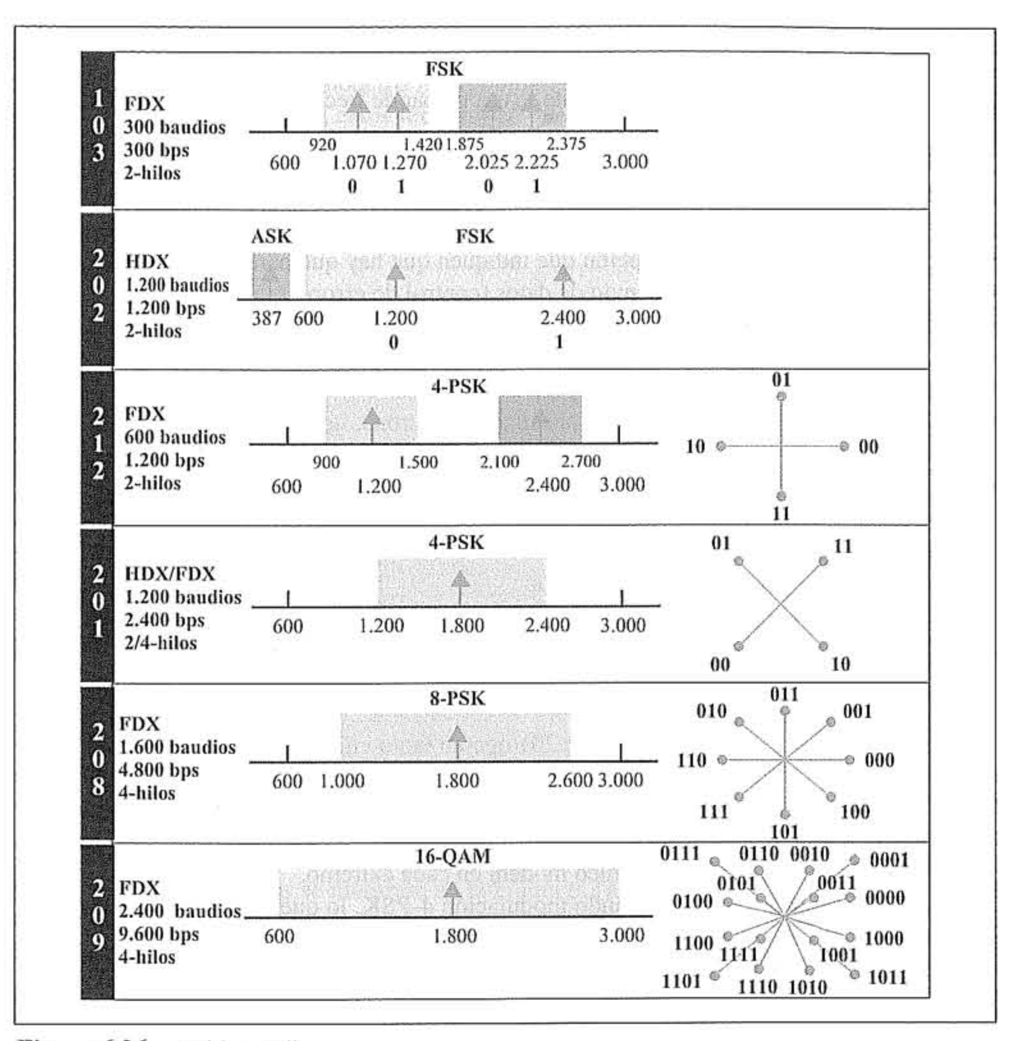


Figura 6.26. *Módem Bell.*

definió el desarrollo de la tecnología y proporcionó un estándar de facto del cual partieron subsecuentes fabricantes. Actualmente hay docenas de compañías que producen cientos de tipos de módems distintos en todo el mundo.

Con todo lo complejos y potentes que muchos modelos se han vuelto, todos ellos han evolucionado del original y relativamente sencillo primer modelo de Bell. Examinar estos primeros módems nos permite comprender las características básicas de los módems. La Figura 6.26 muestra las especificaciones de los principales módems Bell.

Serie 103/113. Una de las primeras series de módems comercialmente disponibles fue la del Bell 103/113. La serie de módems Bell 103/113 opera en modo dúplex sobre una línea telefónica bifilar conmutada. La transmisión es asíncrona, usando modulación FSK. Las frecuencias del iniciador de sesión son 1.070 Hz = 0 y 1.270 Hz = 1. Las frecuencias del que responde son 2.025 Hz = 0 y 2.225 Hz = 1. La tasa de datos es 300 bps. La serie 113 es una variación de la serie 103 con características de comprobación adicionales.

Serie 202. La serie de módems Bell 202 opera en modo semidúplex sobre líneas telefónicas conmutadas bifilares. La transmisión es asíncrona, usando modulación FSK. Debido a que la serie 202 es semidúplex, solamente se usa un par de frecuencias de transmisión: 1.200 Hz = 0 y 2.400 Hz = 1.

Observe que la serie 202 incluye una frecuencia de transmisión secundaria que opera en cada dirección a 387 Hz, usando una modulación ASK, con una tasa de datos de solamente 5 bps. Este canal es usado por el dispositivo receptor para decir al emisor que está conectado y para enviar mensajes de interrupción que indiquen que hay que parar la transmisión (control de flujo) o que solicitan el reenvío de datos (control de errores).

Serie 212. La serie de módems Bell 212 tiene dos velocidades. La opción de tener una segunda velocidad permite la compatibilidad con un número más grande de sistemas. Ambas velocidades operan en modo dúplex sobre líneas telefónicas conmutadas. La velocidad más lenta, 300 bps, usa modulación FSK con transmisión asíncrona, igual que la serie 103/113. A la velocidad más alta, 1.200 bps, puede operar tanto en modo síncrono como asíncrono y usa modulación 4-PSK. Mientras que los 1.200 bps son la misma tasa de datos ya conseguida por la serie 202, la serie 212 consigue esa misma tasa en el dúplex además de en modo semidúplex.

Observe que cambiando de la modulación FSK a PSK los diseñadores incrementaron drásticamente la eficiencia de la transmisión.

En la serie 202, se usan dos frecuencias para enviar bits distintos en una dirección. En la serie 212, las frecuencias representan dos direcciones de transmisión distintas. La modulación se hace cambiando la fase de cada frecuencia, con cada una de los cuatro desplazamientos de fase representando dos bits.

Serie 201. Los módems de la serie 201 operan tanto en modo semidúplex sobre líneas conmutadas bifilares como en modo dúplex sobre líneas de cuatro cables. Todo el ancho de banda de la línea de dos hilos se dedica a una única dirección de transmisión. Las líneas de cuatro hilos permiten el uso de dos canales completamente separados, uno en cada dirección, y su procesamiento a través de un único módem en cada extremo.

La transmisión es síncrona, usando modulación 4-PSK, lo que significa que solamente se necesita una frecuencia para transmitir sobre cada par de cables. Dividir las dos direcciones de transmisión en dos líneas físicamente separadas permite a cada dirección usar el ancho de banda completo de la línea. Esto significa que usando esencialmente la misma tecnología se dobla la tasa de datos a 2.400 bps (o 1.200 baudios) tanto en modo semidúplex como en modo dúplex (2.400 bps sigue siendo la mitad de la máxima tasa de datos teórica para la modulación 4-PSK sobre líneas telefónicas bifilares).

Serie 208. Los módems de la serie 208 operan en modo dúplex sobre líneas dedicadas de cuatro hilos. La transmisión es síncrona y se usa la modulación 8-PSK. Al igual que la serie 201, los módems de la serie 208 consiguen el estatus dúplex doblando el número de hilos usados y dedicando el equivalente de una línea completa a cada dirección de transmisión. La diferencia que hay aquí es que la tecnología de modulación/demodulación es capaz de distinguir entre ocho desplazamientos de fase distintos. Este módem tiene una tasa de baudios de 1.600. Puesto que maneja 3 bits por baudio (8-PSK crea tribits), esa tasa se traduce en una tasa de bits de 4.800 bps.

Serie 209. Los módems de la serie 209 operan en modo dúplex sobre una línea dedicada de cuatro cables. La transmisión es síncrona usando una modulación 16-QAM. Estos módems consiguen un estatus dúplex doblando el número de hilos, de forma que cada dirección de transmisión tiene un canal concreto para sí misma. Sin embargo, esta serie permite usar el ancho de banda total de cada canal. Y debido a que cada desplazamiento representa un quadbit, como cuando se usa 16-QAM, la tasa de datos es 9.600 bps.

Estándares de la ITU-T para módems

Actualmente, muchos de los módems más populares se basan en los estándares publicados por la ITU-T. Para su estudio, estos módems se pueden dividir en dos grupos: los que son esencialmente equivalentes a las series de módems Bell –por ejemplo, **V.21** es similar al módem Bell 103– y aquellos que no lo son. Los módems de la ITU-T que son compatibles con las series Bell se muestran en la Tabla 6.5 junto a sus equivalentes Bell.

Tabla 6.5. *Compatibilidad ITU-T/Bell*

ITU-T	*Bell*	*Tasa de Baudios*	*Tasa de Bits*	*Modulación*
V.21	103	300	300	FSK
V.22	212	600	1.200	4-PSK
V.23	202	1.200	1.200	FSK
V.26	201	1.200	2.400	4-PSK
V.27	208	1.600	4.800	8-PSK
V.29	209	2.400	9.600	16-QAM

Los módems ITU-T que no son equivalentes a los de las series Bell se describen a continuación. Sus características se muestran en la Figura 6.27.

V.22bis. El término *bis* indica que este módem es la segunda generación de la serie **V.22** (*bis* es en latín dos veces). El **V.22bis** es un módem de dos velocidades, lo que significa que puede operar tanto a 1.200 como a 2.400 bps. La velocidad a usar depende de la velocidad del DCE al otro extremo del intercambio de datos. Cuando un V.22bis recibe datos de un módem a 2.400 bps, opera en modo 2.400 bps para ser compatible con el otro extremo.

En el modo 1.200 bps, el V.22bis usa modulación 4-DPSK (dibit) con una tasa de transmisión de 600 baudios. **DPSK** significa **codificación por desplazamiento diferencial en fase,** lo que significa que el patrón de bits define los cambios de fase, no la fase actual. Las reglas para representar cada uno de los cuatro patrones de bits son los siguientes:

$$00 \Rightarrow \text{cambio de fase de 90 grados}$$
$$01 \Rightarrow \text{cambio de fase de 0 grados}$$
$$10 \Rightarrow \text{cambio de fase de 180 grados}$$
$$11 \Rightarrow \text{cambio de fase de 270 grados}$$

En el modo 2.400 bps, el V.22bis usa 16-QAM (quadbit) Los dos dígitos menos significativos de cada quadbit se modulan usando el mismo esquema diferencial descrito para la transmisión de 1.200 bps. Los dos bits más significativos se modulan basándose en un diagrama de constelación como el que se muestra en la Figura 6.28.

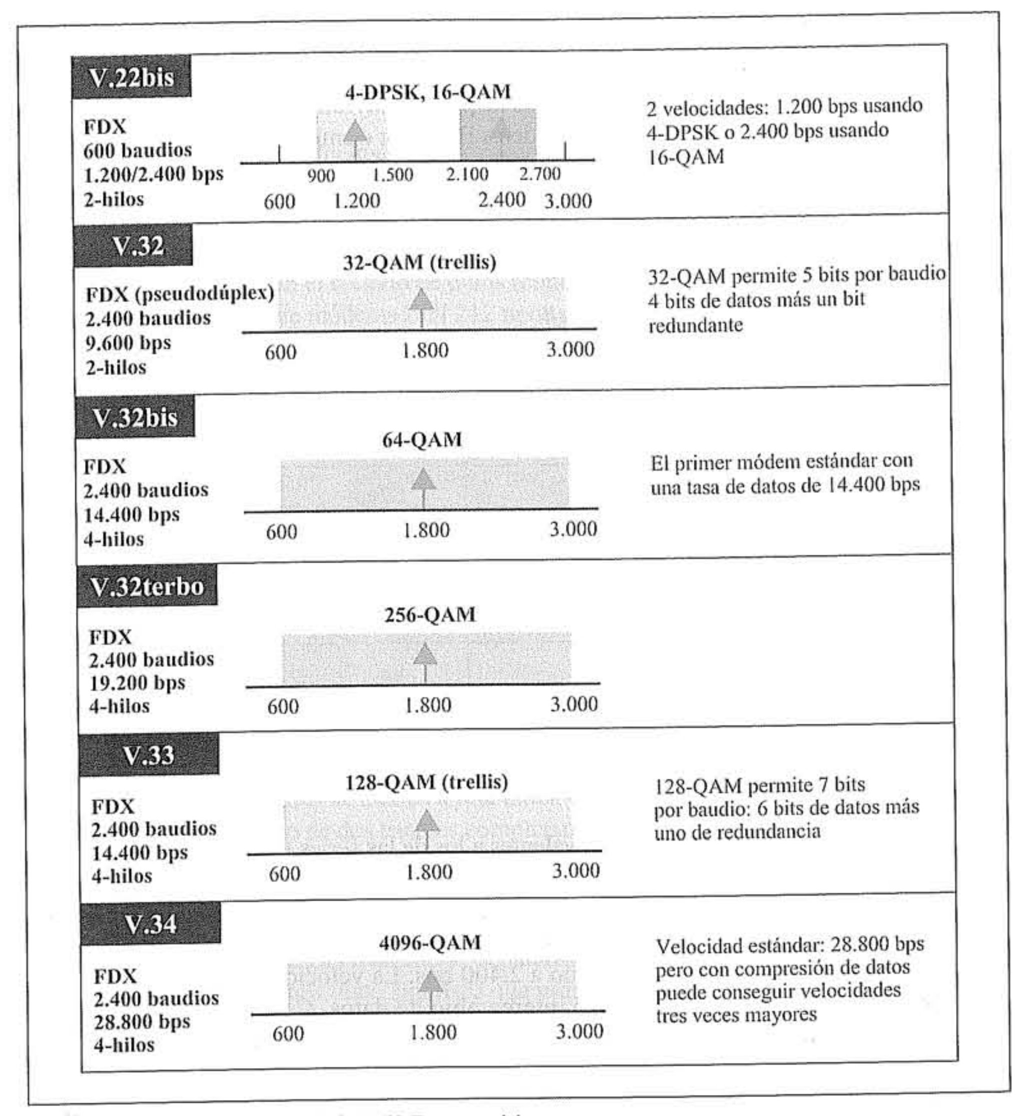


Figura 6.27. *Estándares de la ITU-T para módems.*

V.32. El **V.32** es una versión mejorada del V.29 (véase la Tabla 6.5) que usa una modulación combinada y una técnica de codificación denominada **modulación codificada trellis.** Trellis es esencialmente QAM más un bit de redundancia. El flujo de datos se divide en secciones de cuatro bits. Sin embargo, en lugar de enviar un quadbit, se envía un quintbit (un patrón de cinco bits). El valor del bit extra se calcula a partir de los valores de los cuatro bits de datos anteriores.

En cualquier sistema QAM, el receptor compara cada punto de la señal recibida con todos los puntos válidos de la constelación y selecciona el punto más cercano como valor de bit recibido. Una señal distorsionada por el ruido de la transmisión puede estar más cerca de un punto adyacente que del punto enviado en realidad, dando como resultado una identificación errónea del punto y un error en los datos recibidos. Cuanto más cerca estén los puntos en la cons-

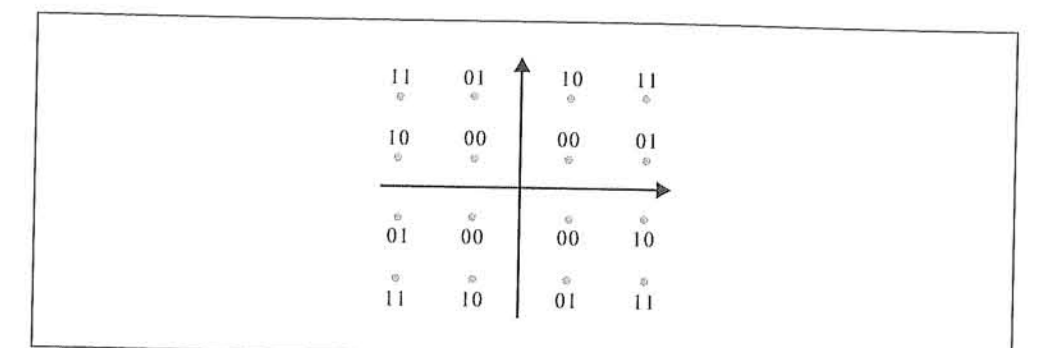


Figura 6.28. *Constelación 16-QAM del V.22bis.*

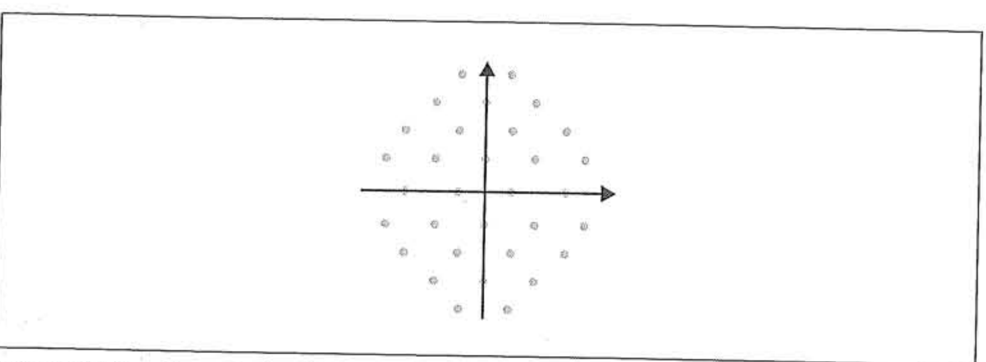


Figura 6.29. *Constelación del V.32.*

telación, más probable es que el ruido de la transmisión pueda dar como resultado errores en la identificación de la señal. Añadiendo un bit redundante a cada quadbit, la modulación codificada trellis incrementa la cantidad de información usada para identificar cada patrón de bits y, por tanto, reduce el número de equivalencias posibles. Debido a ello, es mucho menos probable que una señal codificada trellis distorsionada por el ruido sea comparada con una señal normal QAM. Algunos fabricantes de módems que se ajustan a la norma V.32 usan la facilidad trellis para proporcionar funciones tales como detección de errores o corrección de errores.

V.32 usa 32-QAM con una velocidad de 2.400 baudios. Debido a que solamente 4 bits de cada quintbit representan datos, la velocidad resultante es 4 × 2.400 = 9.600 bps. Su diagrama de constelación se muestra en la Figura 6.29.

Los módems V.32 se pueden usar con una línea conmutada bifilar en lo que se denomina modo pseudodúplex. El modo pseudodúplex se basa en una técnica denominada cancelación de eco.

V.32bis. El módem **V.32bis** fue el primero de los estándares ITU-T que proporcionó transmisión a 14.400 bps. El V.32bis usa transmisión 64-QAM (6 bits por baudio) con una tasa de 2.400 baudios (2.400 × 6 = 14.400 bps).

Una mejora adicional proporcionada por el V.32bis es la inclusión de una característica de retroceso y avance automático que permite al módem ajustar su velocidad hacia delante y hacia atrás dependiendo de la calidad de la línea de la señal.

V.32terbo. El V.32terbo es una versión mejorada del V.32bis (*terbo* es una modificación de la palabra *ter,* que en latín significa tercero). Usa 256-QAM para conseguir una tasa de bits de 19.200 bps.

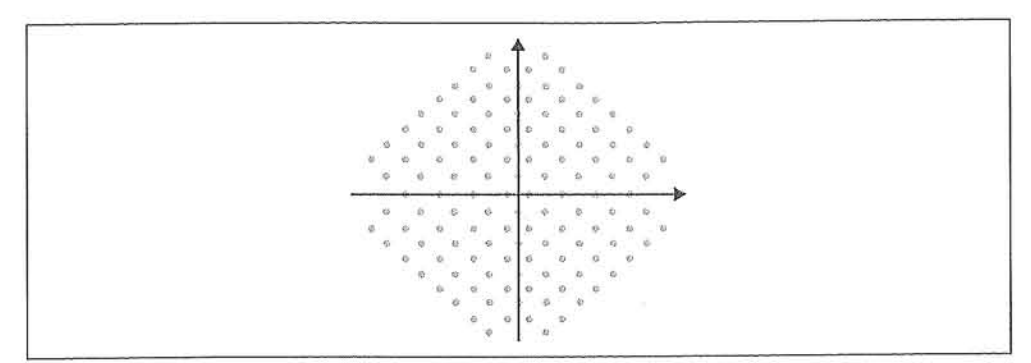


Figura 6.30. *Constelación del V.33.*

V.33. El V.33 se basa también en el V.32. Sin embargo, este módem usa modulación codificada trellis con 128-QAM a 2.400 baudios. Cada cambio de señal representa un patrón de siete bits: seis bits de datos y un bit redundante. Los seis bits de datos por cambio (baudio) dan una velocidad de 6 × 2.400 = 14.400 bps. El diagrama de constelación de este esquema se muestra en la Figura 6.30.

V.34. El módem **V.34**, algunas veces denominado V.fast, proporciona una tasa de bits de 28.800 o 33.600 bps. Además, el V.34 proporciona compresión de datos, lo que permite tasas de datos dos o tres veces más altas que las de su velocidad normal.

V.42. El estándar **V.42** adoptado por la ITU-T usa un protocolo denominado **procedimiento de acceso a enlace para módems (LAPM,** *Link Access Procedure for Modems*). LAPM es una versión del protocolo de enlace de datos denominado HDLC, que se estudiará en el Capítulo 11. El estándar usa un segundo protocolo denominado procedimiento de corrección de error para los DCE, protocolo que permite al módem corregir errores.

V.42bis. Después del V.42, la ITU-T adoptó el **V.42bis.** Este estándar incluye todas las características del V.42, pero añade también el método de compresión de Lempel-Ziv-Welch (que se trata en el Apéndice G). Los módems que usan este estándar pueden conseguir una razón de compresión de 3:1 a 4:1. Observe que la tasa de datos del módem no se incrementa; la compresión permite al usuario enviar más bits en un periodo de tiempo predefinido.

Módems inteligentes

El objetivo de un módem es modular y demodular una señal. Sin embargo, muchos de los módems actuales hacen más. En particular, hay una clase de módems, denominados **módems inteligentes,** que contienen *software* para proporcionar un cierto número de funciones adicionales, tales como respuesta automática y marcado.

Los módems inteligentes fueron creados por Hayes Microcomputer Products, Inc. Recientemente, han aparecido otros fabricantes que ofrecen productos denominados **módems compatibles con Hayes.**

Las instrucciones del Hayes y de los módems compatibles con Hayes se denominan órdenes AT (AT es una abreviatura de atención). El formato de la orden AT es:

AT orden [parámetro] orden [parámetro]...

Cada orden comienza con las letras AT seguidas por una o más órdenes, cada una de las cuales puede tener uno o más parámetros. Por ejemplo, para hacer que el módem marque el número (408) 864-8902, la orden es **TD4088648902.**

En la Tabla 6.6 se muestran unas pocas órdenes de ejemplo. Esta lista representa únicamente un subconjunto pequeño de las órdenes disponibles.

Tabla 6.6. *Órdenes AT*

Orden	*Significado*	*Parámetros*
A	Poner el módem en modo respuesta	
B	Usar V.22bis a 1200 bps	
D	Marcar el número	El número a marcar
E	Activar/desactivar la impresión de eco	0 o 1
H	Activar el enganche del on/off del módem	0 o 1
L	Ajustar el volumen del altavoz	*n*
P	Usar marcación por pulsos	
T	Usar marcación por tonos	

6.5. MODEMS DE 56K

Los módems tradicionales tienen limitaciones en la tasa de datos (con un máximo de 33,6 Kbps), como se puede determinar usando la fórmula de Shannon (véase el Capítulo 7). Sin embargo, existen actualmente en el mercado módems nuevos, que se denominan **módems de 56K,** que tienen una tasa de bits de 56.000 bps. Estos módems se pueden usar solamente si uno de los componentes de la comunicación está usando señalización digital (como hace, por ejemplo, un proveedor de Internet). Son asimétricos en cuanto que la carga de datos (flujo de datos del proveedor de Internet a la PC) tienen una tasa máxima de 56 Kbps, mientras la descarga (flujo de datos de la PC al proveedor de Internet) tiene una tasa máxima de 33,6 Kbps. ¿Violan estos módems el principio de capacidad de Shannon? No, lo que ocurre es que el enfoque es distinto. Vamos a comparar ambos enfoques.

Módems tradicionales

Veamos qué ocurre cuando se usan módems tradicionales para enviar datos de una computadora en un lugar A a otra computadora situada en B y viceversa. Véase la Figura 6.31.

Del lugar A al lugar B

La transmisión de datos del lugar A al lugar B sigue los pasos siguientes:

1. Los datos digitales son modulados por el módem en A.

Figura 6.31. *Módems tradicionales.*

2. Los datos analógicos son enviados por el módem a la estación de conmutación de A usando el bucle local.
3. En la estación de conmutación, los datos analógicos se convierten en datos digitales usando PCM.
4. Los datos digitales viajan a través de la red digital de la compañía telefónica y llegan a la estación de conmutación de B.
5. Los datos digitales se convierten en analógicos, en la estación de conmutación de B, usando PCM inversa.
6. Los datos analógicos se envían de la estación de conmutación de B al módem que usa el bucle local.
7. Los datos analógicos son demodulados por el módem en B.

El factor que limita este proceso está en el paso 3. En este paso se cuantifica la señal analógica para crear la señal digital. El ruido de cuantificación resultante de este proceso limita la tasa de datos a 33,6 Kpbs.

Del lugar B al lugar A

La transmisión de datos de B a A sigue los mismos pasos. De nuevo, el factor limitante es el paso de cuantificación usando PCM.

Resultado

La tasa máxima de datos en cada dirección está limitada a 33,6 Kbps.

Módems de 56K

Si uno de los extremos es un proveedor de Internet y la señal no pasa a través de un convertidor PCM, se elimina la cuantificación en una dirección y la tasa de datos se puede incrementar a 56 Kbps (véase la Figura 6.32).

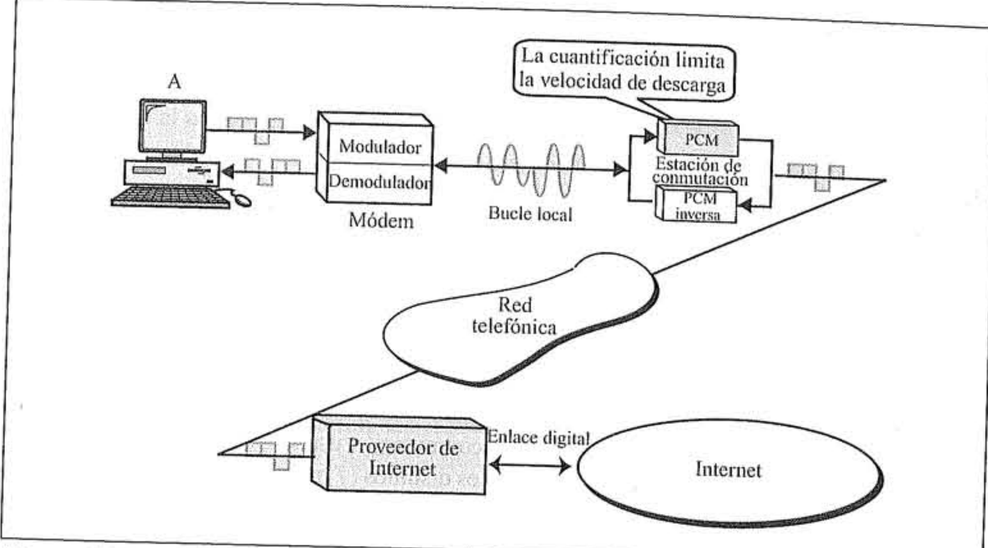


Figura 6.32. *Módems 56K.*

Carga de datos

La transmisión de datos del abonado (A) al proveedor de Internet (B) (**carga de datos**) sigue estos pasos:

1. Los datos digitales son modulados por el módem de A.
2. Los datos analógicos son enviados desde el módem a la estación de conmutación de A por el bucle local.
3. En la estación de conmutación, se convierten los datos a digitales usando PCM.
4. Los datos digitales viajan a través de la red digital de la compañía telefónica y son recibidos en la computadora del proveedor de Internet.

En este caso, el factor limitante es de nuevo el paso 3. Esto significa que no existe ninguna mejora en este sentido de la comunicación. Sin embargo, el usuario no necesita una tasa de datos tan alta, puesto que en esta dirección solamente viajan pequeños bloques de datos (como correo electrónico y ficheros pequeños).

Descarga de datos

La transmisión de datos del proveedor de Internet (B) al módem en el sitio A (**descarga de datos**) tiene los pasos siguientes:

1. Los datos digitales son enviados por la computadora del proveedor de Internet a través de la red telefónica digital.
2. Los datos digitales se convierten en analógicos en la estación de conmutación, usando PCM inversa.
3. Los datos analógicos se envían desde la estación de conmutación de A al módem del bucle local.
4. Los datos analógicos son demodulados por el módem en A.

Observe que en esta dirección no hay cuantificación de datos usando PCM. Aquí no existe la limitación existente en la carga; los datos se pueden enviar a 56 Kbps. Esto es lo que el usuario está buscando, puesto que habitualmente lo que suele existir es descarga de archivos grandes desde Internet.

Resultado

La máxima tasa de datos de salida sigue siendo 33,6 Kbps, pero la tasa de datos en la dirección de entrada es de 56 Kbps.

¿Por qué solo 56 Kbps?

Ya que estos módems no están limitados en la carga de datos por la fórmula de capacidad de Shannon, ¿por qué 56 Kbps? ¿Por qué no más? La respuesta yace en la forma en que las compañías telefónicas digitalizan la voz. Las estaciones de conmutación usan PCM y PCM inversa, realizando 8.000 muestras por segundo con 128 niveles distintos (7 bits por muestra). Esto da como resultado una tasa de datos de 56 Kbps (8.000 × 7 = 56.000) en la estación de conmutación.

6.6. MÓDEM DE CABLE

La limitación de la tasa de datos de los módems tradicionales se debe principalmente al reducido ancho de banda de la línea telefónica del bucle local (hasta 4 KHz). Si hubiera disponible un ancho de banda mayor, se podrían diseñar módems capaces de manejar tasas de datos mucho más altas.

Afortunadamente, la televisión por cable utiliza cables coaxiales en las residencias familiares, cables que tienen un ancho de banda de hasta 750 MHz, y algunas veces más. Este ancho de banda se divide normalmente en bandas de 6 MHz usando multiplexación por división de frecuencia (véase el Capítulo 8). Cada banda proporciona un canal de televisión. Se pueden dedicar dos bandas para permitir al usuario cargar y descargar información de Internet.

La Figura 6.33 muestra el concepto de **módem de cable.** En lugar de usar la caja de cables tradicional, se utiliza un separador. Este separador envía las bandas de televisión a la televisión y las bandas de acceso a Internet al PC.

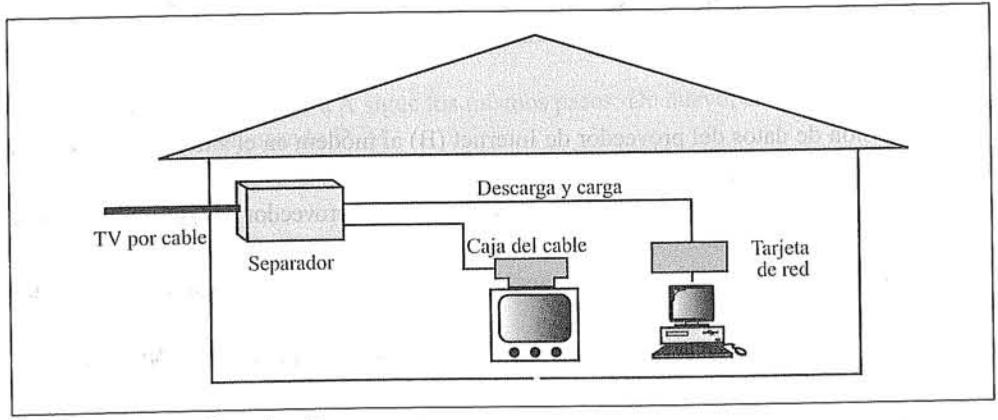


Figura 6.33. *Módem de cable.*

Descarga de datos

La descarga de datos requiere habitualmente un ancho de banda de 6 MHz en el rango por encima de los 40 MHz. La técnica de demodulación usada es 64-QAM (6 bits cada vez). Esto significa que el usuario puede recibir información con una frecuencia de

$$6 \text{ MHz} \times 6 = 36 \text{ Mbps}$$

Sin embargo, las PCs no son todavía capaces de recibir datos a esta velocidad. Actualmente la tasa está entre los 3 y los 10 Mbps.

Carga de datos

La carga de datos necesita un ancho de banda de 6MHz situado en un rango por debajo de los 40 MHz. A esta frecuencia tan baja, los electrodomésticos pueden crear un entorno ruidoso que afecta a la modulación. La técnica de modulación que se usa normalmente es QPSK (4 bits cada vez). Esto significa que un usuario puede enviar información con una velocidad de

$$6 \text{ MHz} \times 2 = 12 \text{ Mbps}$$

En la actualidad, la tasa de salida está entre los 500 Kbps y 1 Mbps.

6.7. TÉRMINOS Y CONCEPTOS CLAVE

ancho de banda del medio
bit de inicio
bit de parada
carga de datos
codificación con desplazamiento diferencial de fase (DPSK)
DB-15
DB-25
DB-37
DB-9
demodulación
demodulador
descarga de datos
EIA-232
EIA-449
EIA-530
equipo terminal del circuito de datos (DCE)
equipo terminal de datos (DTE)
estándar RS-422
estándar RS-423
interfaz
módem
módem 56K
módem compatible Hayes
módem de cable
módem inteligente
módem nulo
módems Bell
modulación
modulación codificada trellis
modulador
procedimiento de acceso a enlaces para módem (LAPM)
series V
transmisión asíncrona
transmisión paralela
transmisión serie
transmisión síncrona
V.21
V.22
V.22bis
V.32
V.32bis
V.34
V.42
V.42bis
X.21

6.8. RESUMEN

- La transmisión digital se puede efectuar en modo serie o paralelo.
- En la transmisión paralela, se envía un grupo de bits simultáneamente, con una línea específica para cada bit.
- En la transmisión serie hay una única línea y todos los bits se envían secuencialmente.
- La transmisión serie puede ser síncrona o asíncrona.
- En la transmisión serie asíncrona, cada byte (grupo de 8 bits) se enmarca con un bit de inicio y un bit de parada. Puede haber un intervalo de longitud variable entre cada byte.
- En la transmisión serie síncrona, los bits se envían en un flujo continuo sin bits de inicio y de parada y sin intervalos entre los bytes. Reagrupar los bits en bytes significativos es responsabilidad del receptor.
- Un DTE (equipo terminal de datos) es un origen o destino para datos digitales binarios.
- Un DCE (equipo terminal del circuito de datos) recibe datos de un DTE y los cambia a una forma apropiada para la transmisión por la red. También puede efectuar la transformación inversa.
- Una interfaz DTE-DCE queda definida por sus características mecánicas, eléctricas y funcionales.
- El estándar EIA-232 define una interfaz DTE-DCE ampliamente empleada que usa un conector de 25 patillas (DB-25), cada uno de las cuales tiene una función específica. Las funciones se pueden clasificar como tierra, datos, control, temporización, reservadas y sin asignar.
- El estándar EIA-449 proporciona una tasa de datos y una capacidad de distancia mayor que el estándar EIA-232.
- El estándar EIA-449 define un conector de 37 patillas (DB-37) usado por el canal primario; el canal secundario tiene su propio conector de 9 patillas.
- Los patillas del DB-37 se dividen en Categoría I (patillas compatibles con EIA-232) y Categoría II (patillas nuevas no compatibles con EIA-232).
- Las especificaciones eléctricas del EIA-449 se definieron en los estándares RS-423 y RS-422.
- El RS-422 es un circuito balanceado con dos líneas para propagación de señal. La degradación de la señal por ruido es menos problemática en el RS-422 que en el RS-423.
- El X.21 elimina muchas de las patillas de control de las interfaces enviando la información de control sobre las patillas de datos.
- Un módem nulo conecta dos DTE cercanos y compatibles que no necesitan redes o modulación.
- Un módem es un DCE que modula y demodula señales.
- Un módem transforma señales digitales en analógicas usando modulación ASK, FSK, PSK o QAM.
- Las propiedades físicas de la línea de transmisión limitan las frecuencias de las señales que se pueden transmitir.
- Una línea telefónica regular usa frecuencias entre los 600 Hz y los 3000 Hz para la transmisión de datos. Requiere un ancho de banda de 2400 Hz.

- La modulación ASK es especialmente susceptible al ruido.
- Debido a que usa dos frecuencias portadoras, la modulación FSK necesita más ancho de banda que la ASK y la PSK.
- La modulación PSK y QAM tienen dos ventajas sobre ASK:
  a. No son susceptibles al ruido.
  b. Cada cambio de señal puede representar más de un bit.
- Los módems más populares actualmente han sobrepasado las capacidades de los antiguos módems Bell y se basan en los estándares definidos por la ITU-T (las series V).
- La codificación trellis es una técnica que usa la redundancia para conseguir una tasa de errores baja.
- Un módem inteligente contiene *software* que permite realizar funciones adicionales a la modulación y demodulación.
- Los módems a 56K son asimétricos; reciben datos a una velocidad de 56 Kbps y los envían a una velocidad de 33,6 Kbps.
- El cable coaxial usado para la televisión por cable puede proporcionar a los clientes un medio con gran ancho de banda (y, por tanto, gran tasa de datos) para la comunicación de datos.

6.9. MATERIAL PRÁCTICO

Preguntas de revisión

1. Explique los dos modos de transmisión de datos binarios a través de un enlace.
2. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de la transmisión paralela?
3. Compare los dos métodos de transmisión serie. Discuta las ventajas y desventajas de cada uno.
4. ¿Cuáles son las funciones de un DTE? ¿Cuáles son las funciones de un DCE? Dé un ejemplo de cada uno.
5. ¿Qué organizaciones de estandarización estuvieron involucradas en el desarrollo de las interfaces estándares DTE-DCE?
6. Nombre algunos estándares populares DTE-DCE.
7. ¿Qué implementaciones hay disponibles del EIA-232? ¿Por qué son distintas?
8. ¿Cuál es el objetivo de un módem nulo?
9. Describa las patillas de datos de un módem nulo.
10. Compare el RS-423 con el RS-422.
11. ¿Cómo puede el X.21 eliminar la mayor parte de los circuitos de control de los estándares de la EIA.
12. ¿Qué significa el término *módem*?
13. ¿Cuál es la función de un modulador? ¿Cuál es la función de un demodulador?
14. ¿Qué factores afectan a la tasa de datos de un enlace?
15. Defina el ancho de banda de una línea. ¿Cuál es el ancho de banda de la línea telefónica tradicional?
16. ¿Qué es un módem inteligente?
17. Explique la simetría de los módems de 56K.
18. ¿Cómo consigue un módem de cable un ancho de banda tan grande?

19. ¿Cuál es la diferencia entre un canal primario y uno secundario de un módem?
20. ¿Por qué hay pares de patillas de envío de datos, envío de temporización y recepción de datos en el conector DB-37?
21. ¿Cuál es la diferencia entre un circuito balanceado y un circuito desbalanceado?
22. ¿Cuál es la relación entre la tasa de datos y la distancia que los datos pueden viajar de forma fiable por una interfaz EIA?
23. La transmisión de los caracteres de un terminal a la computadora central es asíncrona. Explique por qué.
24. ¿Qué describe la especificación mecánica del EIA-232?
25. ¿Qué describe la especificación eléctrica del EIA-232?
26. ¿Qué describe la especificación funcional del EIA-232?
27. De acuerdo al estándar EIA-449, ¿cuál es la diferencia entre las patillas de Categoría I y Categoría II?
28. ¿Por qué son necesarios los módems para las comunicaciones telefónicas?
29. En una línea telefónica bifilar, ¿por qué la transmisión dúplex tiene la mitad de la tasa de bits de la transmisión semidúplex?
30. FSK es una buena elección para los módems de baja velocidad. Explique por qué no es adecuado para los módems de alta velocidad.
31. Explique la diferencia en la capacidad de transmisión cuando se usa una línea de cuatro hilos en lugar de una línea bifilar.
32. El ancho de banda mínimo de una señal ASK podría ser igual a la tasa de bits. Explique por qué esto es imposible en FSK.

Preguntas con respuesta múltiple

33. En la transmisión _____, los bits se transmiten simultáneamente, cada uno a través de su propio hilo.
    a. serie asíncrona
    b. serie síncrona
    c. paralela
    d. a y b
34. En la transmisión _____, los bits se transmiten a través de un único hilo, uno cada vez.
    a. serie asíncrona
    b. serie síncrona
    c. paralela
    d. a y b
35. En la transmisión _____, se enmarca cada byte con un bit de inicio y un bit de terminación.
    a. serie asíncrona
    b. serie síncrona
    c. paralela
    d. a y b
36. En la transmisión asíncrona, el intervalo entre los bytes es _____.
    a. fijo
    b. variable
    c. una función de la tasa de datos
    d. cero

37. La transmisión síncrona no tiene _____.
    a. bit de inicio
    b. bit de parada
    c. intervalo entre bytes
    d. todo lo anterior
38. Un _____ es un dispositivo que es origen o destino para datos digitales binarios.
    a. equipo terminal de datos
    b. equipo de transmisión de datos
    c. codificador terminal digital
    d. equipo de transmisión digital
39. Un _____ es un dispositivo que transmite o recibe datos en forma de señal analógica o digital a través de una red.
    a. equipo de conexión digital
    b. equipo terminal del circuito de datos
    c. equipo de conversión de datos
    d. equipo de comunicación digital
40. El EIA-232 define las características _____ de la interfaz DTE-DCE.
    a. mecánicas
    b. eléctricas
    c. funcionales
    d. todas las anteriores
41. El método de codificación especificado en el estándar EIA-232 es _____.
    a. NRZ-I
    b. NRZ-L
    c. Manchester
    d. Manchester diferencial
42. El estándar EIA-232 especifica que 0 debe ser _____ voltios.
    a. mayor que −15
    b. menos que −15
    c. entre −3 y −15
    d. entre 3 y 15
43. La interfaz EIA-232 tiene _____ patillas.
    a. 20
    b. 24
    c. 25
    d. 30
44. Los datos se envían por la patilla _____ de la interfaz EIA-232.
    a. 2
    b. 3
    c. 4
    d. todas las anteriores
45. La mayoría (13) de las patillas de la interfaz EIA-232 se usan para tareas de_____.
    a. control
    b. temporización
    c. datos
    d. pruebas
46. En el estándar EIA-232 ¿qué representa un valor de −12 V en un patilla de datos?

a. 1
b. 0
c. indefinido
d. 1 o 0 dependiendo del esquema de codificación.

47. ¿Cuáles de las patillas siguientes son necesarias previamente a la transmisión de datos?
a. petición de envío (4) y listo para enviar (5)
b. detector de señal de recepción de línea (8)
c. DTE listo (20) y DCE listo (6)
d. todos los anteriores

48. ¿Qué patilla es necesaria para probar el bucle local?
a. el bucle local (18)
b. bucle remoto y detector de calidad de señal (21)
c. modo de prueba (25)
d. a y c

49. ¿Qué patilla es necesaria para probar el bucle remoto?
a. bucle remoto y detector de calidad de señal (21)
b. el bucle local (18)
c. modo de prueba (25)
d. a y c

50. ¿Qué patillas no se usan actualmente?
a. 9
b. 10
c. 11
d. todas las anteriores

51. ¿Qué patillas son usadas por el canal secundario?
a. 12
b. 13
c. 19
d. todas las anteriores

52. El estándar ____ especifica una longitud máxima de cable de 50 pies.
a. EIA-449
b. EIA-232
c. RS-423
d. RS-422

53. De acuerdo al estándar EIA-449 es posible usar una longitud de cable entre los 40 pies y los _____ pies.
a. 50
b. 500
c. 4000
d. 5000

54. La tasa de datos máxima para el RS-422 es _____ veces que la tasa de datos máxima del RS-423.
a. 0,1
b. 10
c. 100
d. 500

55. En el circuito RS-422, si el ruido cambia de un voltaje de 10 V a 12 V, su complemento debería tener un valor de _____ V.
a. –2
b. –8
c. –10
d. –12

56. Si un ruido de 0,5 V corrompe un bit de un circuito RS-422, se añadirán _____ voltios al bit complementario.
a. –1,0
b. –0,5
c. 0,5
d. 1,0

57. El X.21 elimina muchas de las patillas de ____ que se encuentran en los estándares EIA.
a. datos
b. temporización
c. control
d. tierra

58. El X.21 usa un conector _____.
a. DB-15
b. DB-25
c. DB-37
d. DB-9

59. La información de control (distinta del saludo) se envía casi siempre en el estándar X.21 a través de las patillas de _____.
a. datos
b. temporización
c. control
d. tierra

60. Un módem nulo conecta la patilla de transmisión de datos (2) de un DTE a la _____.
a. patilla de recepción de datos (3) del mismo DTE
b. patilla de recepción de datos (3) de otro DTE
c. patilla de transmisión de datos (2) de otro DTE
d. una señal de tierra de otro DTE

61. Si hay dos DTE cercanos y compatibles que se pueden transmitir datos que no necesitan ser modulados, una buena interfaz a usar sería _____.
a. un módem nulo
b. un cable EIA-232
c. un conector DB-45
d. un transceptor

62. Dada una línea de transmisión en la que H es la frecuencia más alta y L es la frecuencia más baja, el ancho de banda de la línea es _____.
a. H
b. L
c. H - L
d. L - H

63. En una línea telefónica, el ancho de banda de la voz es habitualmente _____ el ancho de banda que se usa para datos.

a. equivalente a
b. menor que
c. mayor que
d. dos veces

64. Para una tasa de bits dada, el ancho de banda mínimo para ASK es _____ el ancho de banda mínimo para FSK.
a. equivalente
b. menor que
c. mayor que
d. dos veces

65. A medida que se incrementa la tasa de bits de una señal FSK, el ancho de banda _____.
a. se decrementa
b. incrementa
c. sigue siendo el mismo
d. se dobla

66. En FSK, a medida que se incrementa la frecuencia de las dos portadoras, el ancho de banda _____.
a. se decrementa
b. se incrementa
c. es el mismo
d. se divide por la mitad

67. ¿Cuál de las siguientes técnicas de modulación se usa en los módems?
a. 16-QAM
b. FSK
c. 8-PSK
d. todas las anteriores

68. La modulación 2-PSK necesita habitualmente _____ el FSK para conseguir la misma tasa de datos.
a. más ancho de banda que
b. menos ancho de banda que
c. el mismo ancho de banda que
d. una orden de magnitud de ancho de banda más que

69. ¿Cuál de los módems siguientes usa modulación FSK?
a. Bell 103
b. Bell 201
c. Bell 212
d. todos los anteriores

70. ¿Qué módem estándar ITU-T usa la codificación de trellis?
a. V.32
b. V.33
c. V.34
d. a y b

71. En la codificación trellis el número de bits de datos es _____ el número de bits transmitidos.
a. igual a
b. menor que
c. más que
d. doble que

72. Para el estándar V.22bis, usando su velocidad más baja, si se está actualmente en el tercer cuadrante y el siguiente dibit es 11, hay un cambio de fase de _____ grados.
a. 0
b. 90
c. 180
d. 270

73. ¿Cuál es el propósito de la codificación trellis?
a. estrechar el ancho de banda
b. simplificar la modulación
c. incrementar la tasa de datos
d. reducir la tasa de error

74. En la modulación _____, los cambios de fase son función del patrón de bit actual y de la fase de los patrones de bits anteriores.
a. FSK
b. PSK
c. DPSK
d. ASK

75. ¿Para qué tipo de señal la tasa de bits es siempre igual a la tasa de baudios?
a. FSK
b. QAM
c. 4-PSK
d. todos los anteriores

76. Un modulador convierte una señal ____ a una señal ____.
a. digital; analógica
b. analógica; digital
c. PSK; FSK
d. FSK; PSK

77. La implementación DB-9 del estándar EIA-232 se usa en una conexión _____.
a. asíncrona sencilla
b. síncrona sencilla
c. símplex
d. ninguna de las anteriores

78. El estándar _____ usa el protocolo LAPM.
a. V.32
b. V.32bis
c. V.34
d. V.42

79. El estándar _____ usa el método de compresión Lempel-Ziv-Welch.
a. V.32
b. V.32bis
c. V.42
d. V.42bis

80. Un módem de 56K puede recibir datos en una tasa de ____ Kbps y emitir datos con una tasa de _____ Kbps.
a. 33,6; 33,6
b. 33,6; 56,6
c. 56,6; 33,6
d. 56,6; 56,6

81. Los usuarios conectados a Internet a través de un proveedor de televisión por cable pueden tener una tasa de datos mayor debido a _____.
    a. la modulación en la estación de conmutación
    b. la modulación en el proveedor de servicios
    c. la modulación AMI
    d. alto ancho de banda del cable coaxial

Ejercicios

82. Si se quieren transmitir 1.000 caracteres ASCII (*véase* el Apéndice A) asíncronamente, ¿cuál es el número mínimo de bits extra necesarios? ¿Cuál es la eficiencia en porcentaje?
83. La letra A del código ASCII (véase el Apéndice) se envía usando la interfaz estándar EIA-232 y la transmisión síncrona. Dibuje una gráfica de la transmisión (amplitud frente a tiempo) asumiendo una tasa de bits de 10 bps.
84. Dibuje una gráfica en el dominio del tiempo para el patrón de bits 10110110 como aparecería en un circuito RS-422. Asuma que 1 es 5 voltios y 0 es –5 voltios. Dibuje también el complemento.
85. Usando los datos del problema anterior, asuma que el primer y el último bit están contaminados por 1 voltio de ruido. Dibuje ambas líneas y dibuje la diferencia del complemento de la señal.
86. Cree una tabla de dos columnas. En la primera columna, liste las patillas del conector DB-9 definido por el EIA-232. En la segunda columna, liste las patillas correspondientes al conector DB-25 definido por el EIA-232.
87. Un módem de cable imaginario tiene un canal de 6 MHz para cada canal de TV por cable. Usa 128-QAM para descarga de datos y 8-PSK para carga. ¿Cuál es la tasa de bits en cada dirección? Observe que se usa la misma banda para cargar y descargar.
88. Escriba una orden Hayes que marque el número 864-8902 y ajuste el volumen del altavoz al nivel 10.
89. Escriba una orden Hayes que marque el número (408)864-8902 y active la impresión de eco.
90. Repita el ejercicio 89 pero desactive la impresión de eco.
91. ¿Cuántas patillas son necesarias si se usa la norma DB-25 en modo asíncrono con un único canal?
92. ¿Cuántas patillas son necesarias si se usa la norma DB-25 en modo síncrono con un único canal?
93. ¿Cuántas patillas son necesarias para el canal secundario DB-25?
94. Rehaga el ejemplo de la Figura 6.12 del texto usando transmisión asíncrona.
95. Rehaga el ejemplo de la Figura 6.12 usando un conector DB-9.
96. Si se usa el RS-423 (en modo desbalanceado), ¿cuál es la tasa de datos si la distancia entre el DTE y el DCE es 1.000 pies?
97. Si se usa el RS-422 (modo balanceado), ¿cuál es la tasa de datos si la distancia entre el DTE y el DCE es 1.000 pies?
98. ¿Qué mejora en la tasa de datos se puede conseguir sobre 1.000 pies si nos movemos de RS-423 a RS-422?
99. Muestre el patrón de bits en una transmisión asíncrona con un bit de inicio y un bit de parada si los datos a enviar son «hola». Use código ASCII (Apéndice A).

100. Algunos módems envían 4 bits por carácter (en lugar de 8) si los datos son puramente numéricos (dígitos de 0 a 9). Muestre cómo se puede hacer esto usando la tabla ASCII en el Apéndice A.
101. La prueba de *bucle local* comprueba el funcionamiento del DCE local (módem). Para ello se envía una señal del DTE local al DCE local y se devuelve al DTE local. Dibuje una figura y muestre qué patillas del EIA-232 se usan para llevar a cabo esta prueba.
102. La prueba de *bucle remoto* comprueba la operación de un DCE remoto (módem). Para ello se envía una señal del DTE local al DCE local, del DCE local al DCE remoto (a través de la red telefónica) y después se devuelve. Dibuje una figura que muestre qué patillas del EIA-232 se usan para esta prueba.

CAPÍTULO 7

Medios de transmisión de datos

Como se vio en el Capítulo 4, las computadoras y otros dispositivos de telecomunicación usan señales para representar los datos. Estas señales se transmiten de un dispositivo a otro en forma de energía electromagnética. Las señales electromagnéticas pueden viajar a través del vacío, el aire u otros medios de transmisión.

La energía electromagnética, una combinación de campos eléctricos y magnéticos vibrando entre sí, comprende a la corriente eléctrica alterna, las señales eléctricas de voz, a las ondas de radio, a la **luz infrarroja,** a la luz visible, a la luz ultravioleta y a los rayos X, gamma y cósmicos. Cada uno de ellos constituye una porción del **espectro electromagnético** (véase la Figura 7.1). Sin embargo, no todas las porciones del espectro se pueden usar realmente para las telecomunicaciones y los medios para conducir aquellas que son utilizables están limitados a unos pocos tipos. Las frecuencias en la banda de voz se transmiten generalmente en forma de corrientes a través de hilos de metal, como los pares trenzados o los cables coaxiales. Las radio frecuencias pueden viajar a través del aire o del espacio, pero necesitan mecanismos específicos de transmisión y recepción. La luz visible, el tercer tipo de energía electromagnética que se usa actualmente para las telecomunicaciones, se conduce usando un cable de fibra óptica.

Los medios de transmisión se pueden dividir en dos grandes categorías: guiados y no guiados (véase la Figura 7.2).

7.1. MEDIOS GUIADOS

Los **medios guiados** son aquellos que proporcionan un conductor de un dispositivo al otro e incluyen **cables de pares trenzados, cables coaxiales** y cables de fibra óptica (véase la Figu-

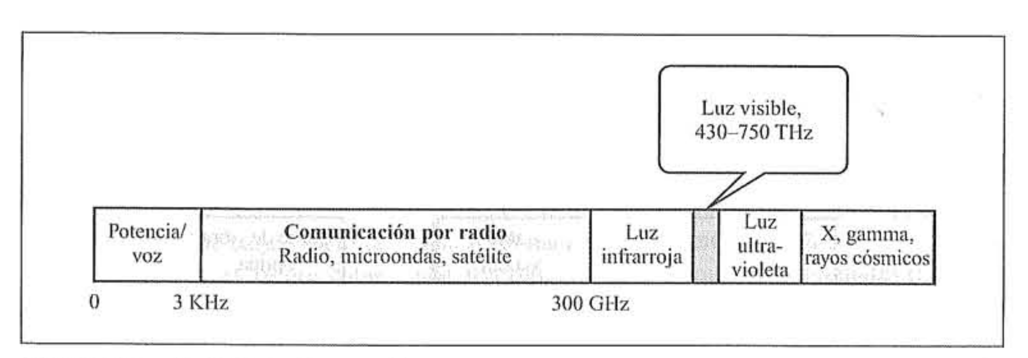


Figura 7.1. *Espectro electromagnético.*

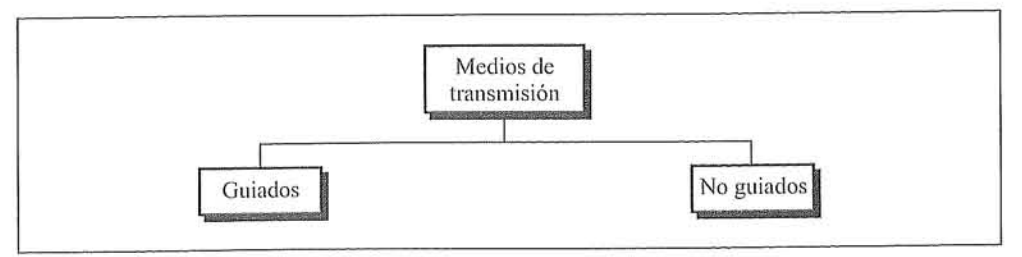


Figura 7.2. *Clases de medios de transmisión.*

ra 7.3). Una señal viajando por cualquiera de estos medios es dirigida y contenida por los límites físicos del medio. El par trenzado y el cable coaxial usan conductores metálicos (de cobre) que aceptan y transportan señales de corriente eléctrica. La **fibra óptica** es un cable de cristal o plástico que acepta y transporta señales en forma de luz.

Cable de par trenzado

El cable de par trenzado se presenta en dos formas: sin blindaje y blindado.

Cable de par trenzado sin blindaje (UTP)

El cable de **par trenzado sin blindaje (UTP,** *Unshielded Twisted Pair*) es el tipo más frecuente de medio de comunicación que se usa actualmente. Aunque es el más familiar por su uso en los sistemas telefónicos, su rango de frecuencia es adecuado para transmitir tanto datos como voz (véase la Figura 7.4). Un par trenzado está formado por dos conductores (habitualmente de cobre), cada uno con su aislamiento de plástico de color. El aislamiento de plástico tiene un color asignado a cada banda para su identificación (véase la Figura 7.5). Los colores se usan tanto para identificar los hilos específicos de un cable como para indicar qué cables pertenecen a un par y cómo se relacionan con los otros pares de un manojo de cables.

> Un par trenzado está formado por dos hilos, cada uno de los cuales está recubierto de material aislante.

En el pasado se usaron dos cables planos paralelos para la comunicación. Sin embargo,

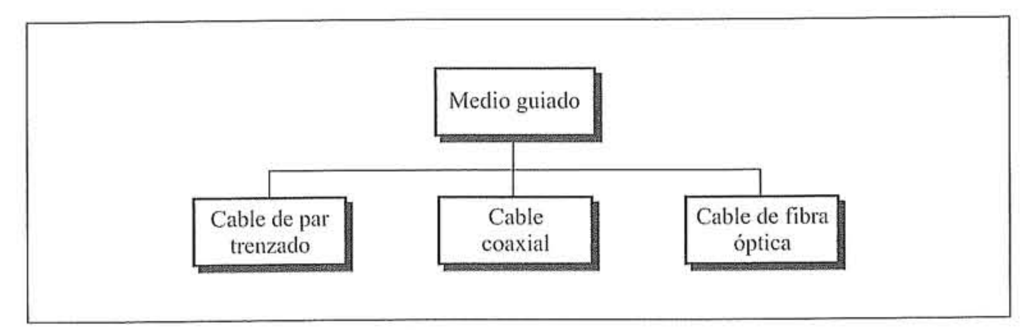


Figura 7.3. *Clases de medios guiados.*

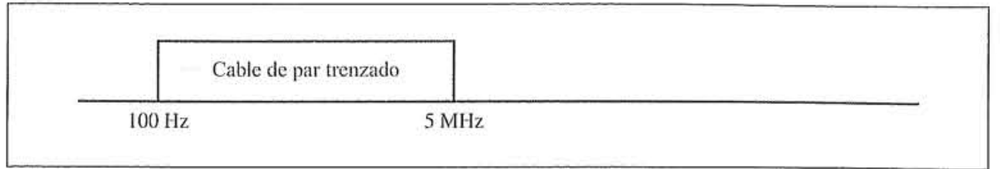


Figura 7.4. *Rango de frecuencias para un cable de par trenzado.*

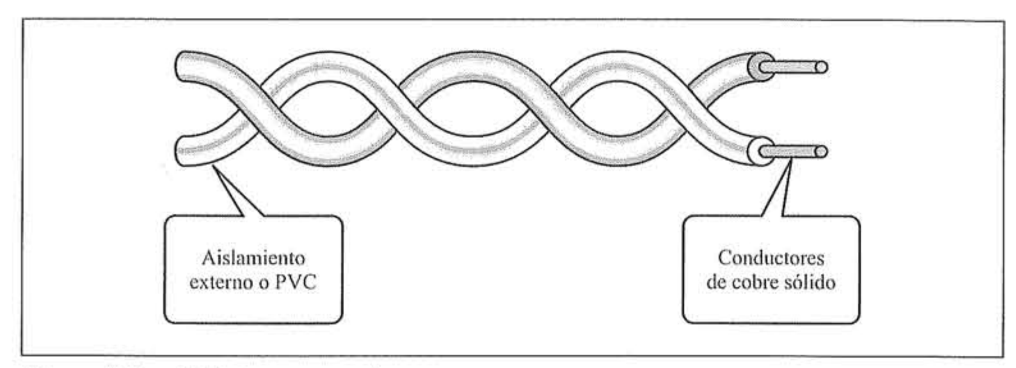


Figura 7.5. *Cable de par trenzado.*

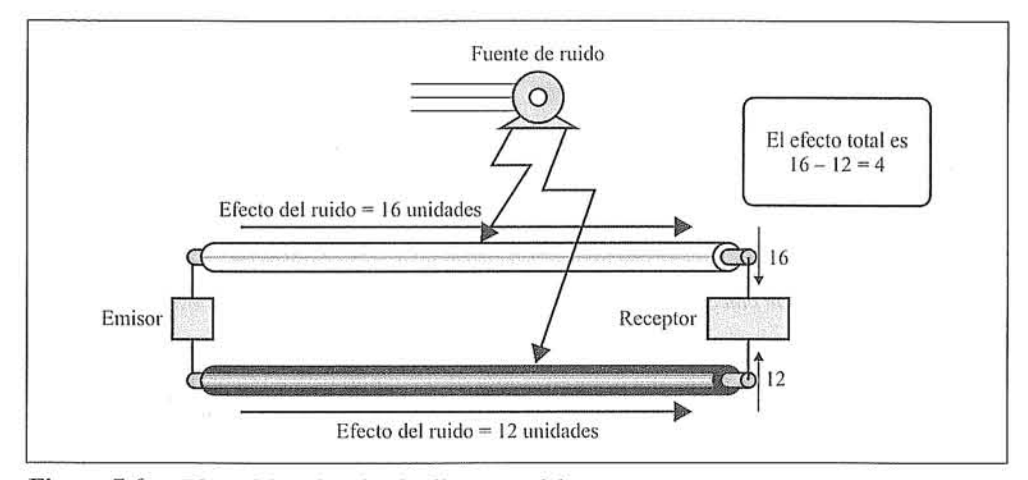


Figura 7.6. *Efecto del ruido sobre las líneas paralelas.*

la interferencia electromagnética de dispositivos tales como motores podía originar ruidos en los cables. Si los dos cables son paralelos, el cable más cercano a la fuente de ruido tiene más interferencia y termina con un nivel de tensión más alto que el cable que está más lejos, lo que da como resultado cargas distintas y una señal dañada (véase la Figura 7.6).

Sin embargo, si los dos cables están trenzados entre sí en intervalos regulares (entre 2 y 12 torsiones por pie), cada cable está cerca de la fuente del ruido durante la mitad del tiempo y lejos durante la otra mitad. Por tanto, con el trenzado, el efecto acumulativo de la interferencia es igual en ambos cables (examine la Figura 7.7). Cada sección de cable tiene una «car-

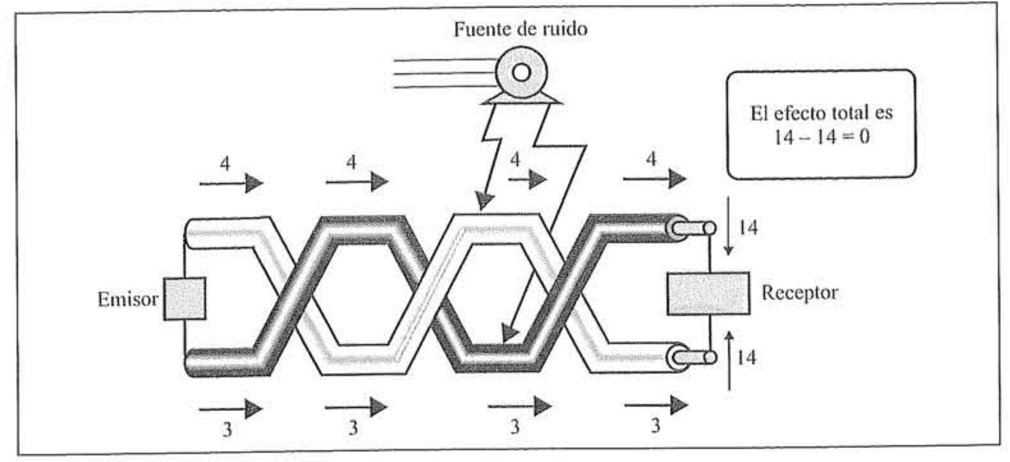


Figura 7.7. *Efecto del ruido en líneas de par trenzado.*

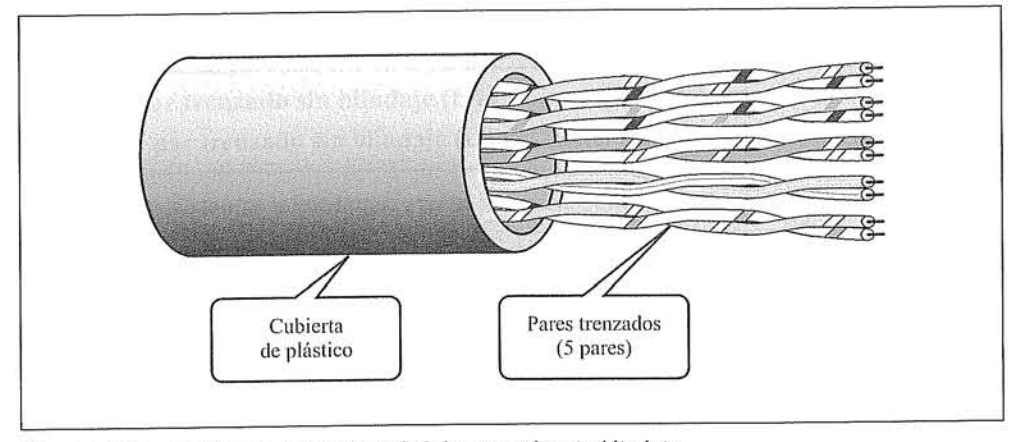


Figura 7.8. *Cable con cinco pares de hilos tenzados sin blindaje.*

ga» de 4 cuando está en la parte alta del trenzado y de 3 cuando está en la parte baja. El efecto total del ruido en el receptor es 0 (14 –14). El trenzado no siempre elimina el impacto del ruido, pero lo reduce significativamente.

Las ventajas del UTP son su coste y su facilidad de uso. El UTP es barato, flexible y fácil de instalar. En muchas tecnologías de LAN, incluyendo Ethernet y Anillo con paso de testigo, se usa UTP de gama alta. La Figura 7.8 muestra un cable que contiene cinco pares trenzados sin blindaje.

La Asociación de Industrias Electrónicas (EIA) ha desarrollado estándares para graduar los cables UTP según su calidad. Las categorías se determinan según la calidad del cable, que varía desde 1, para la más baja, hasta 5, para la más alta. Cada categoría de la EIA es adecuada para ciertos tipos de usos y no para otros:

- **Categoría 1.** El cable básico del par trenzado que se usa en los sistemas telefónicos. Este nivel de calidad es bueno para voz pero inadecuado para cualquier otra cosa que no sean comunicaciones de datos de baja velocidad.

- **Categoría 2.** El siguiente grado más alto, adecuado para voz y transmisión de datos hasta 4 Mbps.
- **Categoría 3.** Debe tener obligatoriamente al menos nueve trenzas por metro y se puede usar para transmisión de datos de hasta 10 Mbps. Actualmente es el cable estándar en la mayoría de los sistemas de telecomunicación de telefonía.
- **Categoría 4.** También debe tener al menos nueve trenzas por metro, así como otras condiciones para hacer que la transmisión se pueda efectuar a 16 Mbps.
- **Categoría 5.** Usada para la transmisión de datos hasta los 100 Mbps.

Conectores UTP. Los cables UTP se conectan habitualmente a los dispositivos de la red a través de un tipo de conector y un tipo de enchufe como el que se usa en las clavijas telefónicas. Los conectores pueden ser machos (el enchufe) o hembras (el receptáculo). Los conectores machos entran en los conectores hembras y tienen una pestaña móvil (denominada llave) que los bloquea cuando quedan ubicados en su sitio. Cada hilo de un cable está unido a un conductor (o patilla) del conector. Los conectores que se usan más frecuentemente para estos enchufes son los RJ45, que tienen ocho conductores, uno para cada hilo de cuatro pares trenzados (véase la Figura 7.9).

Cable de par trenzado blindado (STP)

El cable de **par trenzado blindado (STP,** *Shielded Twisted Pair*) tiene una funda de metal o un recubrimiento de malla entrelazada que rodea cada par de conductores aislados (véase la Figura 7.10). La carcasa de metal evita que penetre ruido electromagnético. También elimina un fenómeno denominado interferencia, que es un efecto indeseado de un circuito (o canal) sobre otro circuito (o canal). Se produce cuando una línea (que actúa como antena receptora) capta alguna de las señales que viajan por otra línea (que actúa como antena emisora). Este efecto se experimenta durante las conversaciones telefónicas cuando se oyen conversaciones de fondo. Blindando cada par de cable de par trenzado se pueden eliminar la mayor parte de las interferencias.

El STP tiene las mismas consideraciones de calidad y usa los mismos conectores que el UTP, pero es necesario conectar el blindaje a tierra. Los materiales y los requisitos de fabricación del STP son más caros que los del UTP, pero dan como resultado cables menos susceptibles al ruido.

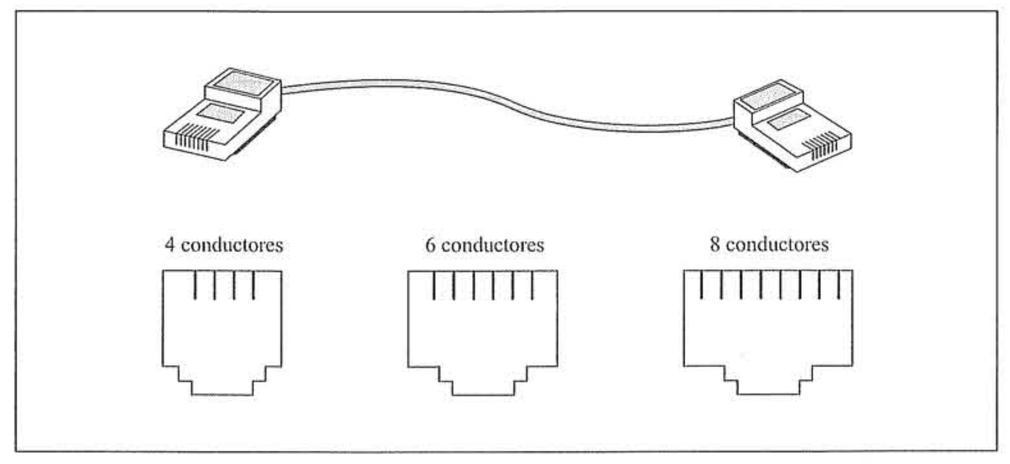


Figura 7.9. *Conexión UTP.*

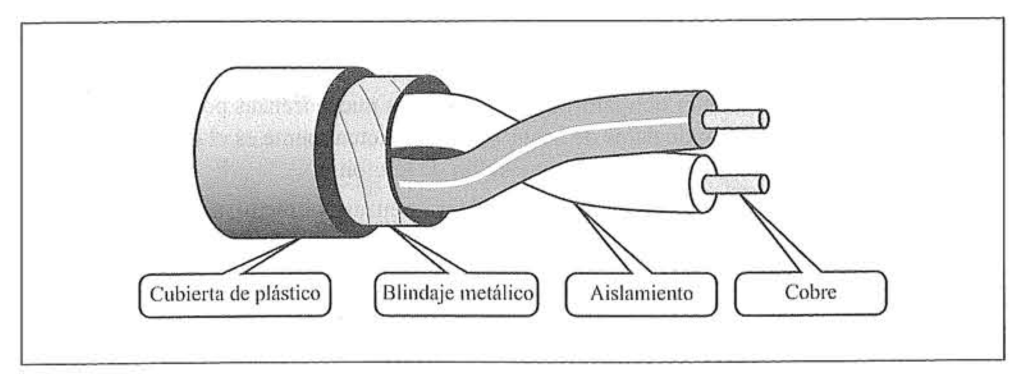


Figura 7.10. *Cable de par trenzado blindado.*

Cable coaxial

El cable coaxial (o *coax*) transporta señales con rangos de frecuencias más altos que los cables de pares trenzados (véase la Figura 7.11), en parte debido a que ambos medios están construidos de forma bastante distinta. En lugar de tener dos hilos, el cable coaxial tiene un núcleo conductor central formado por un hilo sólido o enfilado (habitualmente cobre) recubierto por un aislante de material dieléctrico, que está, a su vez, recubierto por una hoja exterior de metal conductor, malla o una combinación de ambas (también habitualmente de cobre). La cubierta metálica exterior sirve como blindaje contra el ruido y como un segundo conductor, lo que completa el circuito. Este conductor exterior está también recubierto por un escudo aislante y todo el cable está protegido por una cubierta de plástico (véase la Figura 7.12).

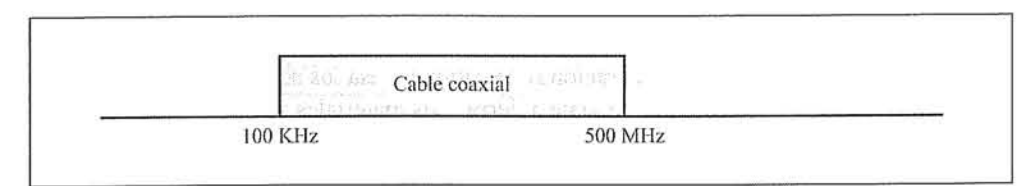


Figura 7.11. *Rango de frecuencias del cable coaxial.*

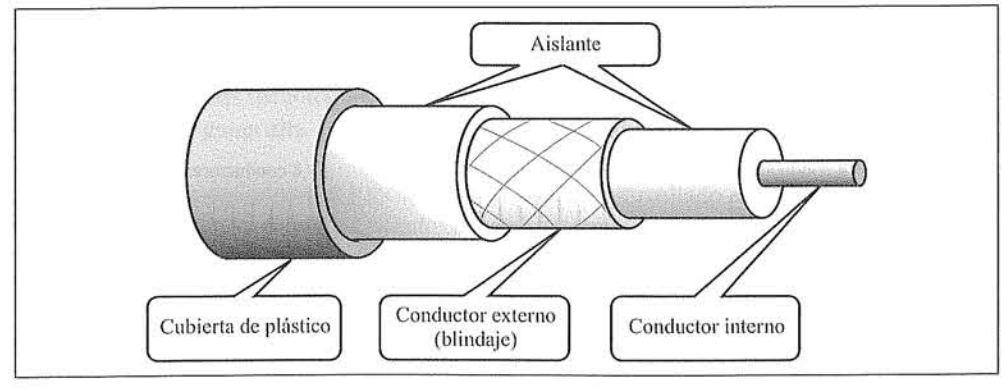


Figura 7.12. *Cable coaxial.*

Estándares de cable coaxial

Los distintos diseños del cable coaxial se pueden categorizar según sus clasificaciones de radio del gobierno (RG). Cada número RG denota un conjunto único de especificaciones físicas, incluyendo el grosor del cable del conductor interno, el grosor y el tipo del aislante interior, la construcción del blindaje y el tamaño y el tipo de la cubierta exterior.

Cada cable definido por las clasificaciones RG está adaptado para una función especializada. Los más frecuentes son:

- **RG-8.** Usado en Ethernet de cable grueso.
- **RG-9.** Usado en Ethernet de cable grueso.
- **RG-11.** Usado en Ethernet de cable grueso.
- **RG-58.** Usado en Ethernet de cable fino.
- **RG-59.** Usado para TV.

Conectores de los cables coaxiales

A lo largo de los años, se han diseñado un cierto número de conectores para su uso en el cable coaxial, habitualmente por fabricantes que buscaban soluciones específicas a requisitos de productos específicos. Unos pocos de los conectores más ampliamente usados se han convertido en estándares. El más frecuente de todos ellos se denomina conector en barril por su forma. De los conectores en barril, el más popular es el conector de red a bayoneta (BNC, *Bayonet Network Connector*), que se aprieta hacia dentro y se bloquea en su lugar dando media vuelta. Otros tipos de conectores de barril se atornillan juntos, lo que necesita más esfuerzo de instalación, o simplemente se aprietan sin bloqueo, lo que es menos seguro. Generalmente, un cable termina en un conector macho que se enchufa o se atornilla en su conector hembra correspondiente asociado al dispositivo. Todos los conectores coaxiales tienen una única patilla que sale del centro del conector macho y entra dentro de una funda de hierro del conector hembra. Los conectores coaxiales son muy familiares debido a los cables de TV y a los enchufes de VCR, que emplean tanto los de presión como los deslizantes.

Otros dos tipos de conectores que se usan frecuentemente son los conectores T y los terminadores. Un conector T (que se usa en la Ethernet de cable fino) permite derivar un cable secundario u otros cables de la línea principal. Un cable que sale de una computadora, por ejemplo, se puede ramificar para conectarse a varios terminales. Los **terminadores** son necesarios en las topologías de bus donde hay un cable principal que actúa como una troncal con ramas a varios dispositivos, pero que en sí misma no termina en ningún dispositivo. Si el cable principal se deja sin terminar, cualquier señal que se transmita sobre él genera un eco que rebota hacia atrás e interfiere con la señal original. Un terminador absorbe la onda al final del cable y elimina el eco de vuelta.

Fibra óptica

Hasta este momento, se han visto cables conductores (de metal) que transmiten señales en forma de corriente. La fibra óptica, por otro lado, está hecha de plástico o de cristal y transmite las señales en forma de luz. Para comprender cómo funciona la fibra óptica es necesario explorar primero varios aspectos de la naturaleza de la luz.

La naturaleza de la luz

La luz es una forma de energía electromagnética que alcanza su máxima velocidad en el vacío: 300.000 kilómetros/segundo (aproximadamente, 186.000 millas/segundo). La velocidad de la

luz depende del medio por el que se propaga (cuanto más alta es la densidad, más baja es la velocidad).

La luz es una forma de energía electromagnética que viaja a 300.000 kilómetros/segundo, aproximadamente 186.000 millas/segundo, en el vacío. La velocidad decrece a medida que el medio por el que se propaga la luz se hace más denso.

Refracción. La luz se propaga en línea recta mientras se mueve a través de una única sustancia uniforme. Si un rayo de luz que se propaga a través de una sustancia entra de repente en otra (más o menos densa), su velocidad cambia abruptamente, causando que el rayo cambie de dirección. Este cambio se denomina **refracción.** Una paja que sobresale de un vaso de agua parece estar torcida, o incluso rota, debido a que la luz a través de la que la vemos cambia de dirección a medida que se mueve del aire al agua.

La dirección en la que se refracta un rayo de luz depende del cambio de densidad que encuentre. Un rayo de luz que se mueva de una sustancia menos densa a un medio más denso se curva hacia el eje vertical (examine la Figura 7.13). Los dos ángulos formados por el rayo de luz en relación al eje vertical se denominan I, para incidente, y R, para refractado. En la Figura 7.13a, el rayo se transmite desde un medio menos denso a un medio más denso. En este caso, el ángulo R es menor que el ángulo I. Sin embargo, en la Figura 7.13b, el rayo se propaga de un medio más denso a un medio menos denso. En este caso, el valor de I es más pequeño que el valor de R. En otras palabras, cuando la luz penetra en un medio más denso, el **ángulo de incidencia** es mayor que el **ángulo de refracción;** y cuando la luz penetra en un medio menos denso, el ángulo de incidencia es menor que el ángulo de refracción.

La tecnología de fibra óptica hace uso de las propiedades que se muestran en la Figura 7.13b para controlar la propagación de la luz a través de un canal de fibra.

Ángulo crítico. Examinemos ahora la Figura 7.14. Una vez más tenemos un rayo de luz que se mueve de un medio más denso a otro menos denso. Sin embargo, en este ejemplo se incrementa gradualmente el ángulo de incidencia medido desde la vertical. A medida que

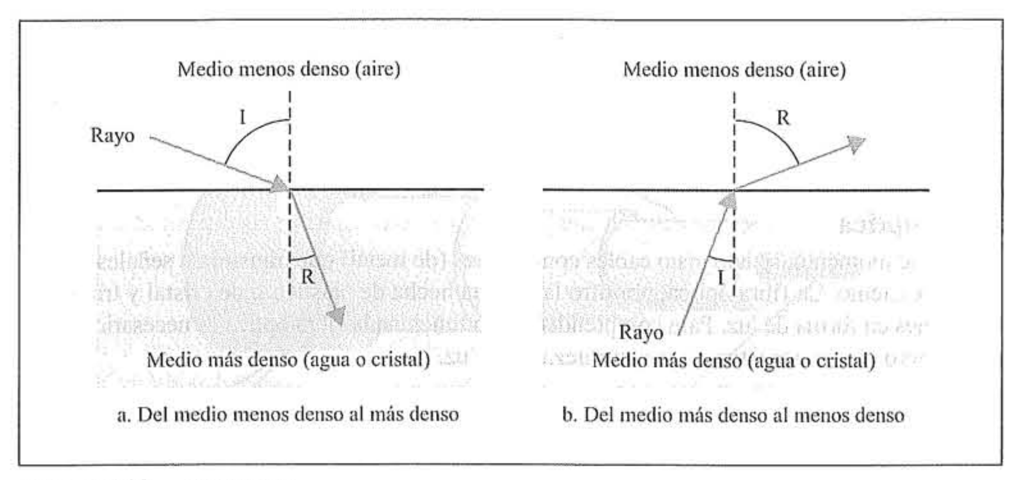


Figura 7.13. *Refracción.*

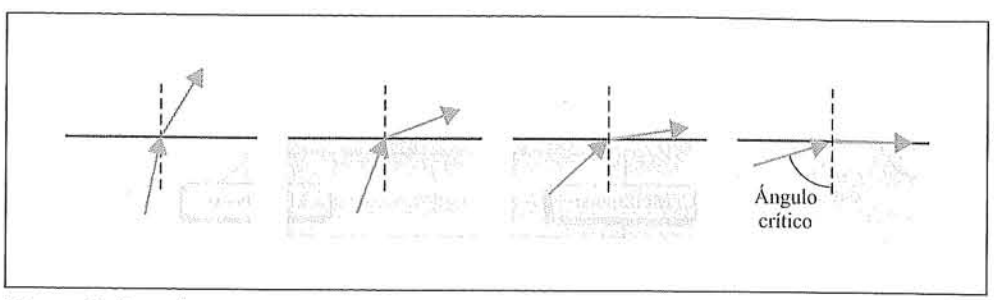


Figura 7.14. *Ángulo crítico.*

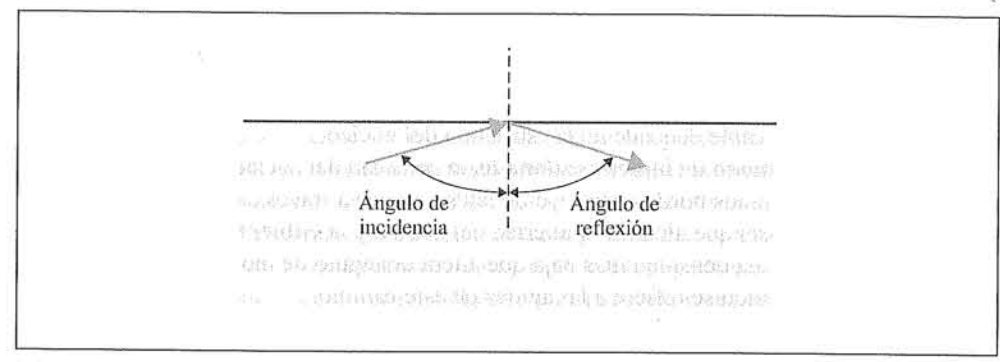


Figura 7.15. *Reflexión.*

se incrementa el ángulo de incidencia, también lo hace el ángulo de refracción. Este se aleja igualmente del eje vertical y se hace cada vez más próximo al horizontal.

En algún punto de este proceso, el cambio del ángulo de incidencia da como resultado un ángulo de refracción de 90 grados, de forma que el rayo refractado se mueve a lo largo de la horizontal. El ángulo de incidencia en este punto es el que se conoce como **ángulo crítico.**

Reflexión. Cuando el ángulo de incidencia se hace mayor que el ángulo crítico, se produce un fenómeno denominado **reflexión** (o, más exactamente, reflexión completa, porque algunos aspectos de la reflexión siempre coexisten con la refracción). En este caso, ya no pasa nada de luz al medio menos denso, porque el ángulo de incidencia es siempre igual al **ángulo de reflexión** (véase la Figura 7.15).

La fibra óptica usa la reflexión para transmitir la luz a través de un canal. Un núcleo de cristal o plástico se rodea con una cobertura de cristal o plástico menos denso. La diferencia de densidad de ambos materiales debe ser tal que el rayo de luz que se mueve a través del núcleo sea reflejado por la cubierta en lugar de ser refractado por ella. La información se codifica dentro de un rayo de luz como series de destellos encendido-apagado que representan los bits uno y cero.

Modos de propagación

La tecnología actual proporciona dos modos de propagación de la luz a lo largo de canales ópticos, cada uno de los cuales necesita fibras con características distintas: multimodo y monomodo. A su vez, el multimodo se puede implementar de dos maneras: índice escalonado o de índice de gradiente gradual (véase la Figura 7.16).

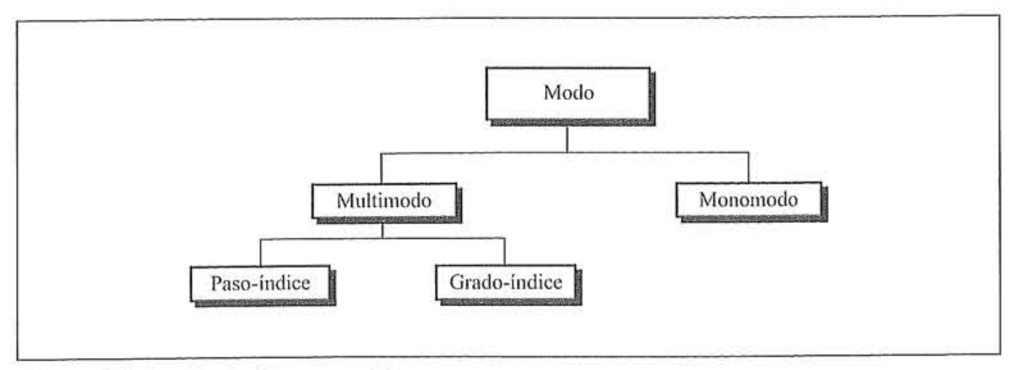


Figura 7.16. *Modos de propagación.*

Multimodo. El multimodo se denomina así porque hay múltiples rayos de luz de una fuente luminosa que se mueven a través del núcleo por caminos distintos. Cómo se mueven estos rayos dentro del cable depende de la estructura del núcleo.

En la **fibra multimodo de índice escalonado,** la densidad del núcleo permanece constante desde el centro hasta los bordes. Un rayo de luz se mueve a través de esta densidad constante en línea recta hasta que alcanza la interfaz del núcleo y la **cubierta.** En la interfaz, hay un cambio abrupto a una densidad más baja que altera el ángulo de movimiento del rayo. El término índice escalonado se refiere a la rapidez de este cambio.

La Figura 7.17 muestra varios haces (o rayos) que se propagan a través de una fibra de índice escalonado. Algunos rayos del centro viajan en línea recta a través del núcleo y alcanzan el destino sin reflejarse o refractarse. Algunos otros rayos golpean la interfaz del núcleo y se reflejan en un ángulo menor que el ángulo crítico; estos rayos penetran la cubierta y se pierden. Todavía quedan otros que golpean el borde del núcleo con ángulos mayores que el ángulo crítico y se vuelven a reflejar dentro del núcleo hasta el otro lado, balanceándose hacia delante y hacia atrás a lo largo del canal hasta que alcanzan su destino.

Cada rayo se refleja fuera de la interfaz en un ángulo igual a su ángulo de incidencia. Cuanto mayor sea el ángulo de incidencia, más amplio es el ángulo de reflexión. Un rayo con un ángulo de incidencia menor necesitará más balanceos para viajar la misma distancia que un rayo con un ángulo de incidencia mayor. En consecuencia, el rayo con el ángulo de incidencia más pequeño debe viajar más rápido para alcanzar su destino. Esta diferencia en la longitud del camino significa que distintos rayos llegan al destino en momentos distintos. Puesto que los distintos rayos son recombinados en el receptor, el resultado es una señal que no es

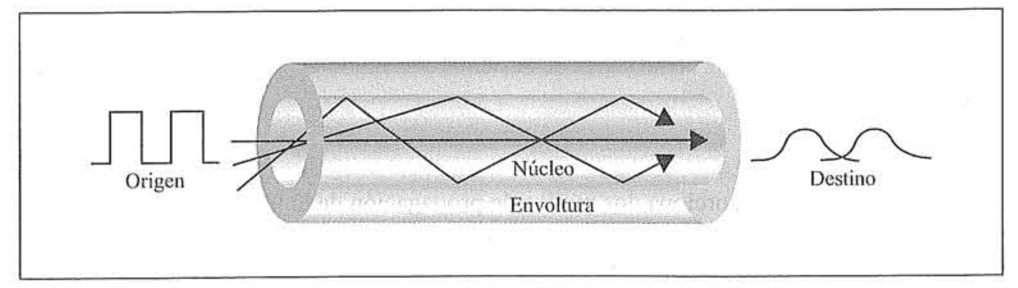


Figura 7.17. *Fibra multimodo de índice escalonado.*

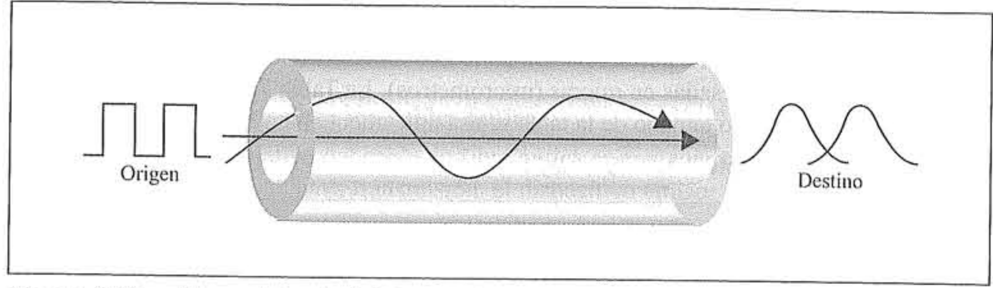


Figura 7.18. *Fibra multimodo de índice gradual.*

ya una réplica exacta de la señal que se retransmitió. Esta señal ha sido distorsionada por los retrasos de la propagación. Esta distorsión limita la tasa de datos disponible y hace que el cable multimodo de índice escalonado sea inadecuado para ciertas aplicaciones precisas.

Hay un segundo tipo de fibra, denominado **fibra multimodo de índice gradual,** que decrementa esta distorsión de la señal a través del cable. La palabra *índice* se refiere en este caso al índice de refracción. Como se ha visto anteriormente, el índice de refracción está relacionado con la densidad. Por tanto, una fibra de índice gradual tiene densidad variable. La densidad es mayor en el centro del núcleo y decrece gradualmente hasta el borde. La Figura 7.18 muestra el impacto de esta densidad variable en la propagación de los rayos luminosos.

La señal se introduce en el centro del núcleo. A partir de este punto, solamente el rayo horizontal se mueve en línea recta a través de la zona central, de la densidad constante. Los rayos en otros ángulos se mueven a través de una serie de densidades que cambian constantemente. Cada diferencia de densidad hace que el rayo se refracte formando una curva. Además, cambiar la refracción cambia la distancia de cada rayo que viaja en el mismo periodo de tiempo, dando como resultado que los rayos distintos se intersecan a intervalos regulares. Si se sitúa cuidadosamente el receptor en uno de estos intervalos se puede conseguir reconstruir la señal con una precisión mucho mayor.

Monomodo. El monomodo usa fibra de índice escalonado y una fuente de luz muy enfocada que limita los rayos a un rango muy pequeño de ángulos, todos cerca de la horizontal. La **fibra monomodo** se fabrica con un diámetro mucho más pequeño que las fibras multimodo y con una densidad (índice de refracción) sustancialmente menor. El decrecimiento de densidad da como resultado un ángulo crítico que está muy cerca de los 90 grados para hacer que la propagación de los rayos sea casi horizontal. En este caso, la propagación de los distintos rayos es casi idéntica y los retrasos son despreciables. Todos los rayos llegan al destino «juntos» y se pueden recombinar sin distorsionar la señal (véase la Figura 7.19).

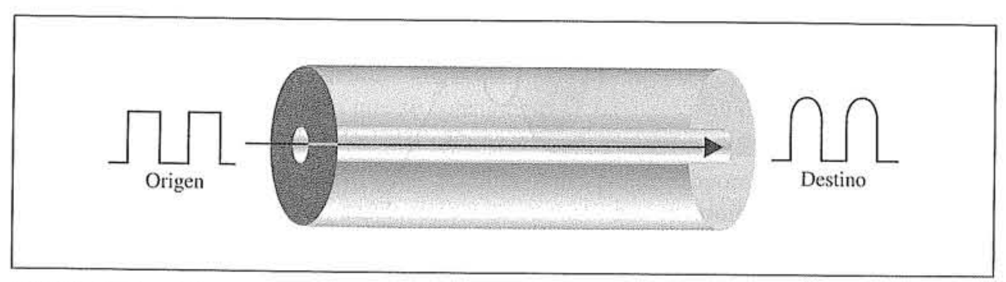


Figura 7.19. *Fibra monomodo.*

Tamaño de la fibra

Las fibras ópticas se definen por la relación entre el diámetro de su núcleo y el diámetro de su cubierta, ambas expresadas en micras (micrómetros). La Tabla 7.1 muestra los tamaños más frecuentes. El último tamaño de la tabla se usa únicamente para monomodo.

Tabla 7.1. *Tipos de fibra*

Tipo de Fibra	*Núcleo (micras)*	*Cubierta (micras)*
62,5/125	62,5	125
50/125	50,0	125
100/140	100,0	140
8,3/125	8,3	125

Composición del cable

La Figura 7.20 muestra la composición de un cable típico de fibra óptica. La fibra está formada por un núcleo rodeado por una cubierta. En la mayoría de los casos, la fibra está cubierta por un nivel intermedio que lo protege de la contaminación. Finalmente, todo el cable está encerrado por una carcasa exterior.

Tanto el núcleo como la cubierta pueden estar hechos de cristal o plástico, pero deben ser de densidades distintas. Además, el núcleo interior debe ser ultra puro y completamente regular en forma y tamaño. Las diferencias químicas del material, e incluso pequeñas variaciones del tamaño y la forma del canal, alteran el ángulo de reflexión y distorsionan la señal. Algunas aplicaciones pueden admitir cierta distorsión y sus cables pueden ser más baratos, pero otras dependen de que haya una uniformidad completa.

La cobertura exterior (o funda) se puede hacer con varios materiales, incluyendo un recubrimiento de teflón, plástico, plástico fibroso, tubería de metal y malla metálica. Cada uno de estos materiales sirve para un propósito distinto. Los plásticos son ligeros y baratos pero no proporcionan fuerza estructural y pueden emitir humos cuando se queman. La tubería de metal proporciona mayor fortaleza pero eleva los costes. El teflón es ligero y se puede usar al aire

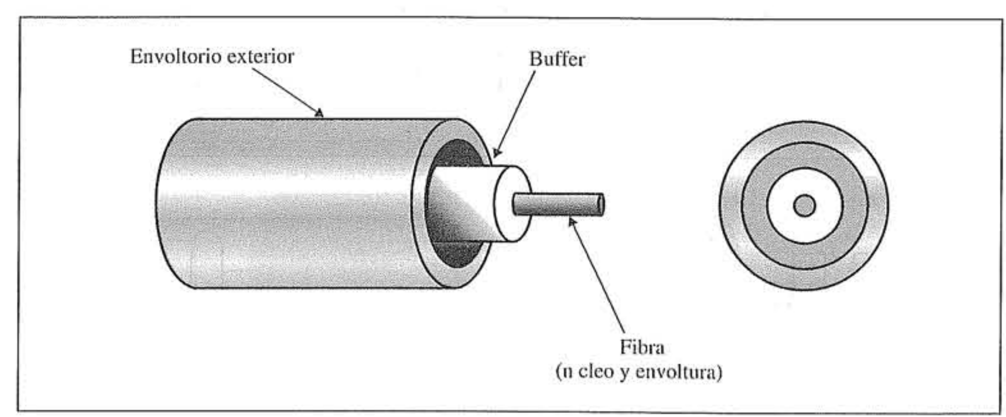


Figura 7.20. *Construcción de la fibra.*

libre, pero es caro y no incrementa la robustez del cable. La elección del material depende del lugar de instalación del cable.

Fuentes de luz diversas para los cables ópticos

Como se ha visto, el objetivo del cable de fibra óptica es contener y dirigir rayos de luz del origen al destino. Para que haya transmisión, el dispositivo emisor debe estar equipado con una fuente luminosa y el dispositivo receptor con una célula fotosensible (denominada fotodiodo) capaz de traducir la luz recibida en corriente que pueda ser usada en una computadora. La fuente luminosa puede ser bien un **diodo emisor de luz (LED,** *Light Emmitting Diode*) o un diodo de inyección láser (ILD, *Injection Laser Diode*). Los LED son la fuente más barata, pero proporcionan una luz desenfocada que incide en los extremos del canal con ángulos descontrolados y se difumina con la distancia. Por esta razón, el uso de los LED está limitado a distancias cortas.

Por otro lado, los **láseres** se pueden enfocar en un rango muy estrecho, permitiendo el control del ángulo de incidencia. Las señales láser conservan el carácter de la señal en distancias considerables.

Conectores para fibra óptica

Los conectores para el cable de fibra óptica deben ser tan precisos como el cable en sí mismo. Con medios metálicos, las conexiones no necesitan ser tan exactas siempre que ambos conductores estén en contacto físico. Por otro lado, con la fibra óptica cualquier desalineamiento o bien con otro segmento del núcleo o bien con un fotodiodo da como resultado que la señal se refleje hacia el emisor y cualquier diferencia en el tamaño de los dos canales conectados da como resultado un cambio en el ángulo de la señal. Además, la conexión debe completarse aunque las fibras conectadas no estén completamente unidas. Un intervalo entre ambos núcleos da como resultado una señal disipada; una conexión fuertemente presionada puede comprimir ambos núcleos y alterar el ángulo de reflexión.

Teniendo en cuenta estas restricciones, los fabricantes han desarrollado varios conectores que son precisos y fáciles de usar. Todos los conectores populares tienen forma de barril y conectores en versiones macho y hembra. El cable se equipa con un conector macho que se bloquea o conecta con un conector hembra asociado al dispositivo a conectar.

Ventajas de la fibra óptica

La principal ventaja que ofrece el cable de fibra óptica sobre los pares trenzados y el cable coaxial son: inmunidad al ruido, menor atenuación de la señal y ancho de banda mayor.

- **Inmunidad al ruido.** Debido a que las transmisiones por fibra óptica usan luz en lugar de electricidad, el ruido no es importante. La luz externa, la única interferencia posible, es bloqueada por el recubrimiento opaco exterior del canal.
- **Menor atenuación de la señal.** La distancia de transmisión de la fibra óptica es significativamente mayor que la que se consigue en otros medios guiados. Una señal puede transmitirse a lo largo de kilómetros sin necesidad de regeneración.
- **Ancho de banda mayor.** El cable de fibra óptica puede proporcionar anchos de banda (y por tanto tasas de datos) sustancialmente mayores que cualquier cable de par trenzado o coaxial. Actualmente, las tasas de datos y el uso del ancho de banda en cables de fibra óptica no están limitados por el medio, sino por la tecnología disponible de generación y de recepción de la señal.

Desventajas de la fibra óptica

Las principales desventajas de la fibra óptica son el coste, la instalación, el mantenimiento y la fragilidad.

- **Coste.** El cable de fibra óptica es caro. Debido a que cualquier impureza o imperfección del núcleo puede interrumpir la señal, la fabricación debe ser laboriosamente precisa. Igualmente, conseguir una fuente de luz láser puede costar miles de dólares, comparado a los cientos de dólares necesarios para los generadores de señales eléctricas.
- **Instalación/mantenimiento.** Cualquier grieta o rozadura del núcleo de un cable de fibra óptica difumina la luz y altera la señal. Todas las marcas deben ser pulidas y fundidas con precisión. Todas las conexiones deben estar perfectamente alineadas y ser coincidentes con el tamaño del núcleo y deben proporcionar uniones completamente acopladas pero sin excesivas presiones. Las conexiones de los medios metálicos, por otro lado, se pueden hacer con herramientas de cortado y de presión relativamente poco sofisticadas.
- **Fragilidad.** La fibra de cristal se rompe más fácilmente que el cable, lo que la convierte en menos útil para aplicaciones en las que es necesario transportar el *hardware*.

A medida que las técnicas de fabricación han mejorado y los costes se han reducido, las altas tasas de datos y la inmunidad al ruido han hecho de la fibra óptica un medio crecientemente popular.

7.2. MEDIOS NO GUIADOS

Los **medios no guiados,** o **comunicaciones sin cable,** transportan ondas electromagnéticas sin usar un conductor físico. En su lugar, las señales se radian a través del aire (o, en unos pocos casos, el agua) y, por tanto, están disponibles para cualquiera que tenga un dispositivo capaz de aceptarlas.

Asignación de radio frecuencia

La sección del espectro electromagnético definido como comunicación de radio se divide en ocho rangos, denominados bandas, cada una de ellas reguladas por las autoridades gubernamentales. Estas bandas se clasifican desde frecuencia muy baja (VLF, *Very Low Frequency*) a frecuencia extremadamente alta (EHF, *Extremely High Frequency*). La Figura 7.21 muestra las ocho bandas y sus acrónimos.

Propagación de las ondas de radio

Tipos de propagación

La transmisión de **ondas de radio** utiliza cinco tipos de propagación distintos: superficie, troposférica, ionosférica, línea de visión y espacio (véase la Figura 7.22)

La tecnología de radio considera que la tierra está rodeada por dos capas de atmósfera: la troposfera y la ionosfera. La **troposfera** es la porción de la atmósfera que se extiende hasta aproximadamente 45 km desde la superficie de la tierra (en terminología de radio, la tropos-

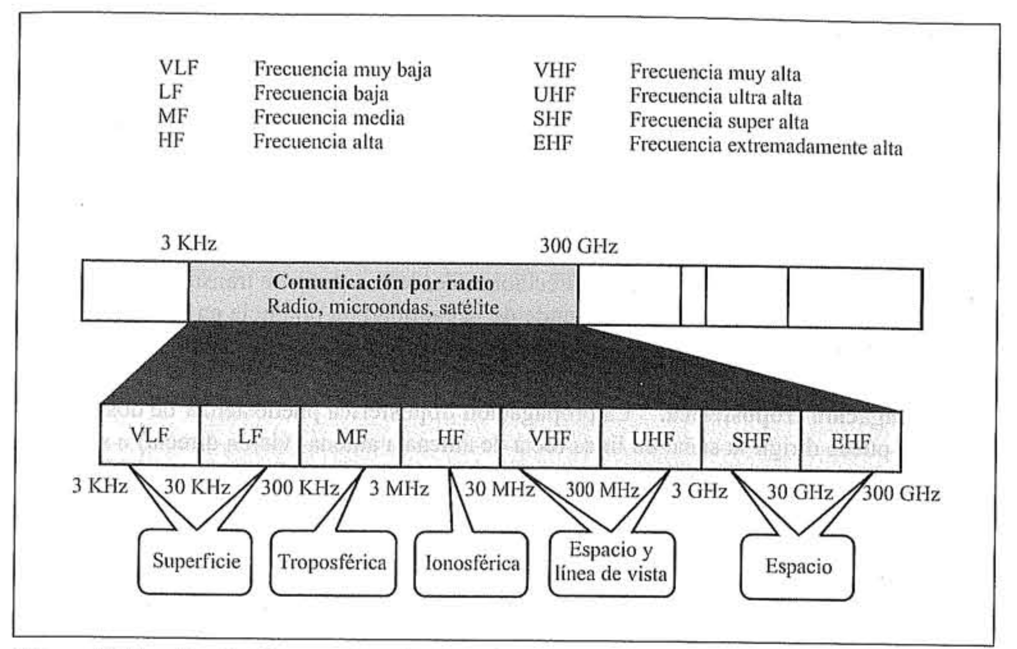


Figura 7.21. *Bandas de comunicación por radio.*

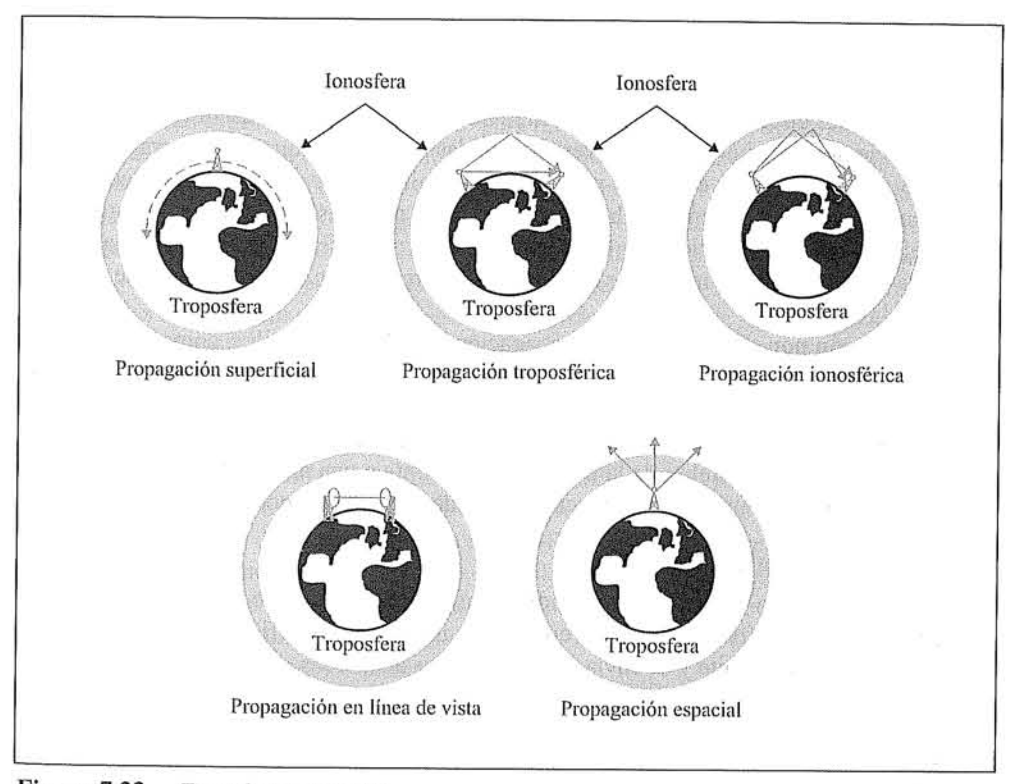


Figura 7.22. *Tipos de propagación.*

fera incluye una capa de máxima altitud denominada estratosfera) y contiene aquello en lo que nosotros generalmente pensamos como el aire. Las nubes, el viento, las variaciones de temperatura y el clima en general ocurren en la troposfera, al igual que los viajes de avión. La **ionosfera** es la capa de atmósfera por encima de la troposfera pero por debajo del espacio. Está más allá de lo que nosotros denominamos atmósfera y contiene partículas libres cargadas eléctricamente (de aquí el nombre).

Propagación en superficie. En la propagación en superficie, las ondas de radio viajan a través de la porción más baja de la atmósfera, abrazando a la tierra. A las frecuencias más bajas, las señales emanan en todas las direcciones desde la antena de transmisión y sigue la curvatura del planeta. La distancia depende de la cantidad de potencia en la señal: cuanto mayor es la potencia, mayor es la distancia. La propagación en superficie también puede tener lugar en el agua del mar.

Propagación troposférica. La propagación troposférica puede actuar de dos formas. O bien se puede dirigir la señal en línea recta de antena a antena (visión directa) o se puede radiar con un cierto ángulo hasta los niveles superiores de la troposfera donde se refleja hacia la superficie de la tierra. El primer método necesita que la situación del receptor y el transmisor esté dentro de distancias de visión, limitadas por la curvatura de la tierra en relación a la altura de las antenas. El segundo método permite cubrir distancias mayores.

Propagación ionosférica. En la propagación ionosférica, las ondas de radio de más alta frecuencia se radian hacia la ionosfera donde se reflejan de nuevo hacia la tierra. La densidad entre la troposfera y la ionosfera hace que cada onda de radio se acelere y cambie de dirección, curvándose de nuevo hacia la tierra. Este tipo de transmisión permite cubrir grandes distancias con menor potencia de salida.

Propagación por visión directa. En la propagación por visión directa, se transmiten señales de muy alta frecuencia directamente de antena a antena siguiendo una línea recta. Las antenas deben ser direccionales, estando enfrentadas entre sí, y o bien están suficientemente altas o suficientemente juntas para no verse afectadas por la curvatura de la tierra. La propagación por visión directa es compleja porque las transmisiones de radio no se pueden enfocar completamente. Las ondas emanan hacia arriba y hacia abajo así como hacia delante y pueden reflejar sobre la superficie de la tierra o partes de la atmósfera. Las ondas reflejadas que llegan a la antena receptora más tarde que la porción directa de la transmisión puede corromper la señal recibida.

Propagación por el espacio. La propagación por el espacio utiliza como retransmisor satélites en lugar de la refracción atmosférica. Una señal radiada es recibida por un satélite situado en órbita, que la reenvía de vuelta a la tierra para el receptor adecuado. La transmisión vía satélite es básicamente una transmisión de visión directa con un intermediario (el satélite). La distancia al satélite de la tierra es equivalente a una antena de súper alta ganancia e incrementa enormemente la distancia que puede ser cubierta por una señal.

Propagación de señales específicas

El tipo de propagación que se usa en la radio-transmisión depende de la frecuencia (velocidad) de la señal. Cada frecuencia es adecuada para una capa específica de la atmósfera y es más eficiente si se transmite y se envía con tecnologías adaptadas a la capa.

VLF. Las **ondas de frecuencia muy baja (VLF,** *Very Low Frequency*) se propagan como ondas de superficie, habitualmente a través del aire, pero algunas veces a través del agua del mar. Las ondas VLF no sufren mucha atenuación debido a la transmisión, pero son sensibles a los altos niveles de ruido atmosférico (calor y electricidad) activo en bajas altitudes.

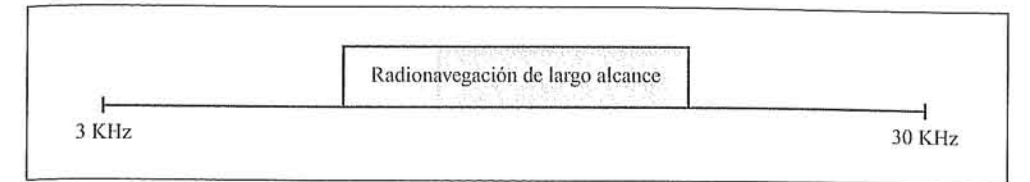


Figura 7.23. *Rango de frecuencia para VLF.*

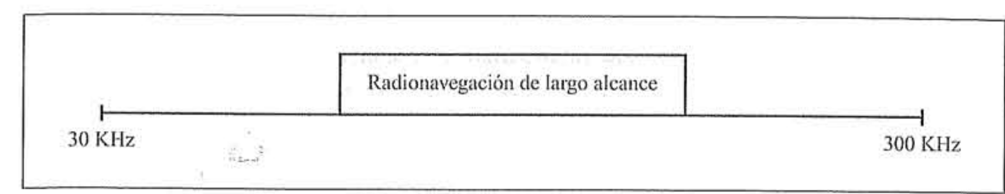


Figura 7.24. *Rango de frecuencia para LF.*

Las ondas VLF se usan principalmente para radio-navegación de largo alcance y para comunicación submarina (véase la Figura 7.23).

LF. De forma similar al VLF, las ondas de **baja frecuencia (LF,** *Low Frequency*) se propagan también como ondas de superficie. Las ondas LF se usan para radio-navegación de largo alcance y para las radio balizas o localizadores de navegación (véase la Figura 7.24). La atenuación es mayor durante el día, cuando se incrementa la absorción de las ondas por los obstáculos naturales.

MF. Las señales de **frecuencia media (MF,** *Middle Frequency*) se propagan en la troposfera. Estas frecuencias son absorbidas por la ionosfera. Por tanto, la distancia que pueden cubrir está limitada por el ángulo necesario para reflejar la señal en la troposfera sin entrar en la ionosfera. La absorción se incrementa durante el día, pero la mayoría de las transmisiones MF se efectúan con antenas de visión directa para incrementar el control y evitar también los problemas de absorción. Los usos de las transmisiones MF incluyen radio AM, radio marítima, buscadores audiodireccionales (RDF) y frecuencias de emergencia (véase la Figura 7.25).

HF. Las señales de **frecuencia alta (HF,** *High Frequency*) usan propagación ionosférica. Estas señales se desplazan dentro de la ionosfera, donde la diferencia de densidad las refleja de nuevo hacia la tierra. Los usos de señales HF incluyen los radioaficionados (ham radio), la radio de bandas de ciudadanos (CB), las emisiones internacionales, comunicaciones militares, comunicación de larga distancia para aviones y barcos, teléfonos, telégrafos y faxes (véase la Figura 7.26).

VHF. La mayoría de las ondas de **frecuencia muy alta (VHF,** *Very High Frequency*) usan propagación de visión directa. Los usos del VHF incluyen la televisión VHF, la radio FM, la radio AM de los aviones y la ayuda de navegación de los aviones (véase la Figura 7.27).

UHF. Las ondas de **frecuencia ultra alta (UHF,** *Ultra High Frequency*) siempre se usan en propagación de visión directa. Los usos para el UHF incluyen la televisión UHF, los teléfonos móviles, la radio celular, los buscadores y los enlaces de microondas (véase la Figura 7.28). Observe que la comunicación con microondas comienzan en la frecuencia 1 GHz de la banda UHF y continúa hasta las bandas SHF y EHF.

SHF. Las ondas de **frecuencia superalta (SHF,** *Super High Frequency*) se transmiten usando principalmente propagación por visión directa y algo de propagación espacial. Los usos del SHF incluyen las microondas terrestres y satélite y la comunicación radar (véase la Figura 7.29).

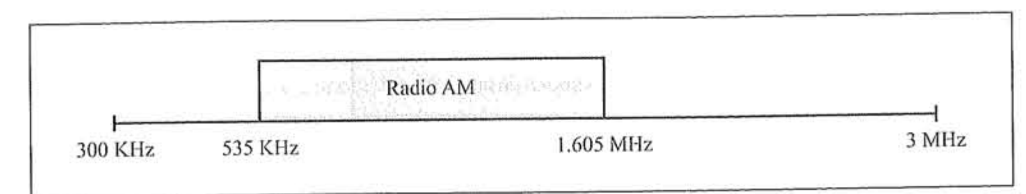


Figura 7.25. *Rango de frecuencia para MF.*

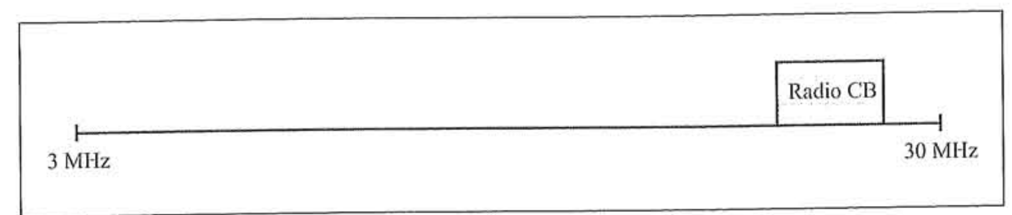


Figura 7.26. *Rango de frecuencia para HF.*

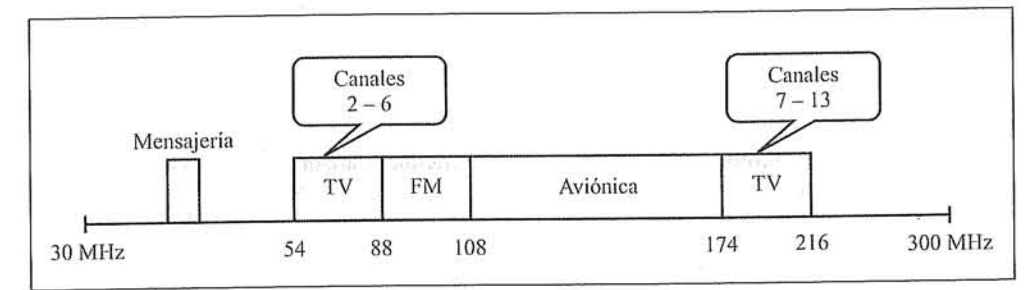


Figura 7.27. *Rango de frecuencia para VHF.*

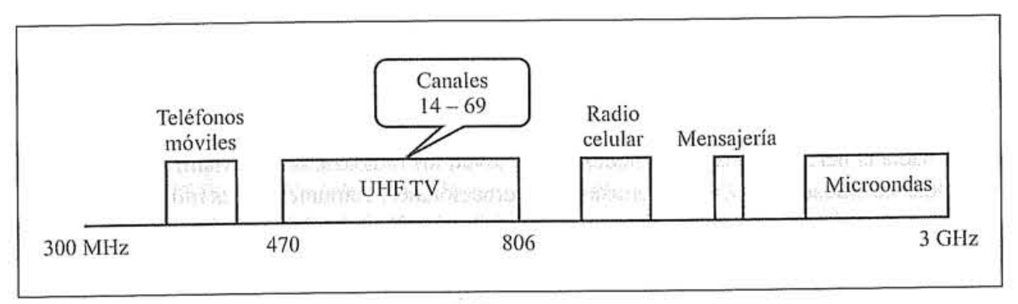


Figura 7.28. *Rango de frecuencia para UHF.*

Microondas

3 GHz 30 GHz

Figura 7.29. *Rango de frecuencia para SHF.*

Microondas

30 GHz 300 GHz

Figura 7.30. *Rango de frecuencia para EHF.*

EHF. Las ondas de **frecuencia extremadamente alta (EHF,** *Extremely High Frequency*) usan la propagación espacial. Los usos para el EHF son predominantemente científicos e incluyen radar, satélite y comunicaciones experimentales (véase la Figura 7.30)

Microondas terrestres

Las **microondas** terrestres no siguen la curvatura de la tierra y por tanto necesitan equipo de transmisión y recepción por visión directa. La distancia que se puede cubrir con una señal por visión directa depende principalmente de la altura de la antena: cuanto más altas sean las antenas, más larga es la distancia que se puede ver. La altura permite que la señal viaje más lejos sin ser interferida por la curvatura del planeta y eleva la señal por encima de muchos obstáculos de la superficie, como colinas bajas y edificios altos que de otra forma bloquearían la transmisión. Habitualmente, las antenas se montan sobre torres que a su vez están construidas sobre colinas o montañas.

Las señales de microondas se propagan en una dirección concreta, lo que significa que hacen falta dos frecuencias para una comunicación en dos sentidos, como por ejemplo una conversación telefónica. Una frecuencia se reserva para la **transmisión por microondas** en una dirección y la otra para la transmisión en la otra. Cada frecuencia necesita su propio transmisor y receptor. Actualmente, ambas partes del equipo se combinan habitualmente en un equipo denominado transceptor, lo que permite usar una única antena para dar servicio a ambas frecuencias y funciones.

Repetidores

Para incrementar la distancia útil de las **microondas terrestres**, se puede instalar un sistema de repetidores con cada antena. La señal recibida por una antena se puede convertir de nuevo a una forma transmisible y entregarla a la antena siguiente (véase la Figura 7.31). La distancia mínima entre los repetidores varía con la frecuencia de la señal y el entorno en el cual se encuentran las antenas. Un repetidor puede radiar la señal regenerada a la frecuencia original o con una nueva frecuencia, dependiendo del sistema.

Las microondas terrestres con repetidores constituyen la base de la mayoría de los sistemas de telefonía contemporánea alrededor del mundo.

Antenas

Para las comunicaciones con microondas terrestres se usan dos tipos de antenas: parabólicas y de cornete.

Una **antena parabólica** se basa en la geometría de una parábola: cada línea paralela a la línea de simetría (línea de vista) refleja la curva en ángulos tales que inciden en un punto común denominado foco (véase la Figura 7.32). El plato parabólico funciona como un embu-

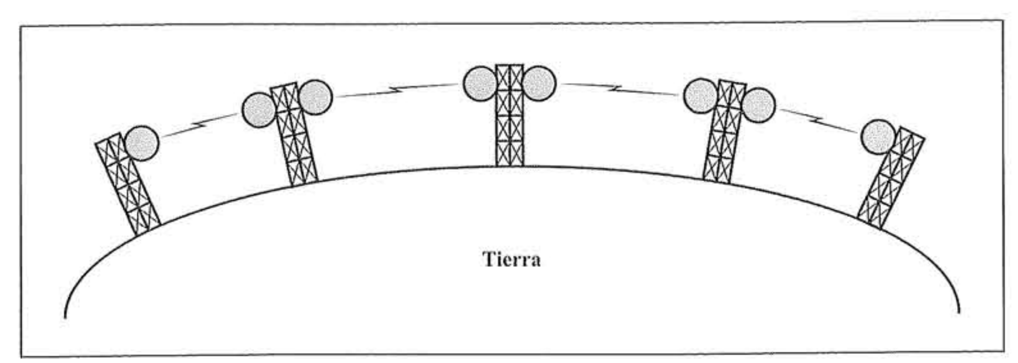


Figura 7.31. *Microondas terrestes.*

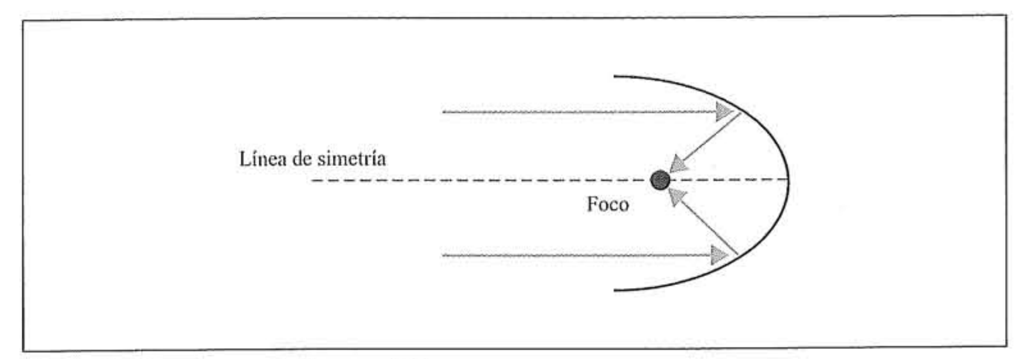


Figura 7.32. *Antena de disco parabólico.*

do, capturando un amplio rango de ondas y dirigiéndolas a un punto común. De esta forma, se recupera más señal de lo que sería posible con un receptor de punto único.

Las transmisiones de salida se radian a través de un cornete apuntado al disco. Las microondas golpean el disco y son deflexionadas hacia fuera en sentido contrario al camino de recepción.

Una **antena de cornete** se parece a una cuchara gigante. Las transmisiones de salida son radiadas hacia arriba de un mástil (que se parece al mango) y deflexionadas hacia fuera en una serie de estrechos haces paralelos mediante la cabeza curvada (véase la Figura 7.33). Las transmisiones recibidas son recolectadas por la forma de cuchara del cornete, de forma similar a la antena parabólica, y son deflexionadas mástil abajo.

Comunicación vía satélite

Las transmisiones vía satélite se parecen mucho más a las transmisiones con microondas por visión directa en la que las estaciones son satélites que están orbitando la tierra. El principio es el mismo que con las microondas terrestres, excepto que hay un satélite actuando como una antena súper alta y como repetidor (véase la Figura 7.34). Aunque las señales que se transmiten vía satélite siguen teniendo que viajar en línea recta, las limitaciones impuestas sobre la distancia por la curvatura de la tierra son muy reducidas. De esta forma, los satélites retransmisores permiten que las señales de microondas se puedan transmitir a través de continentes y océanos con un único salto.

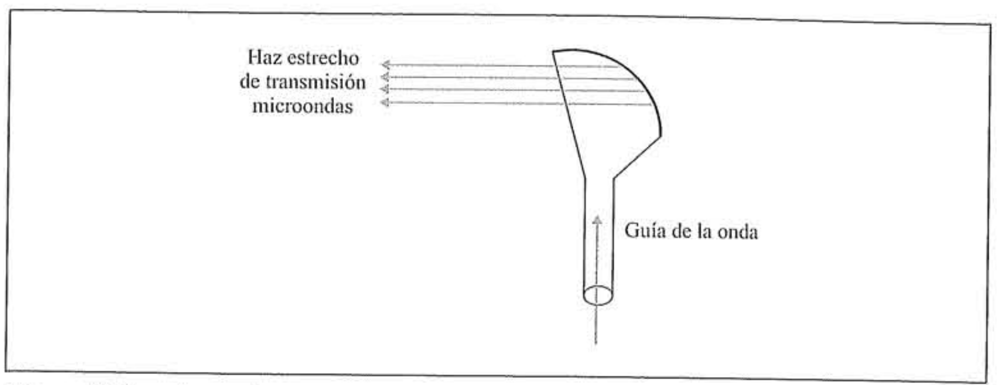


Figura 7.33. *Antena de cornete.*

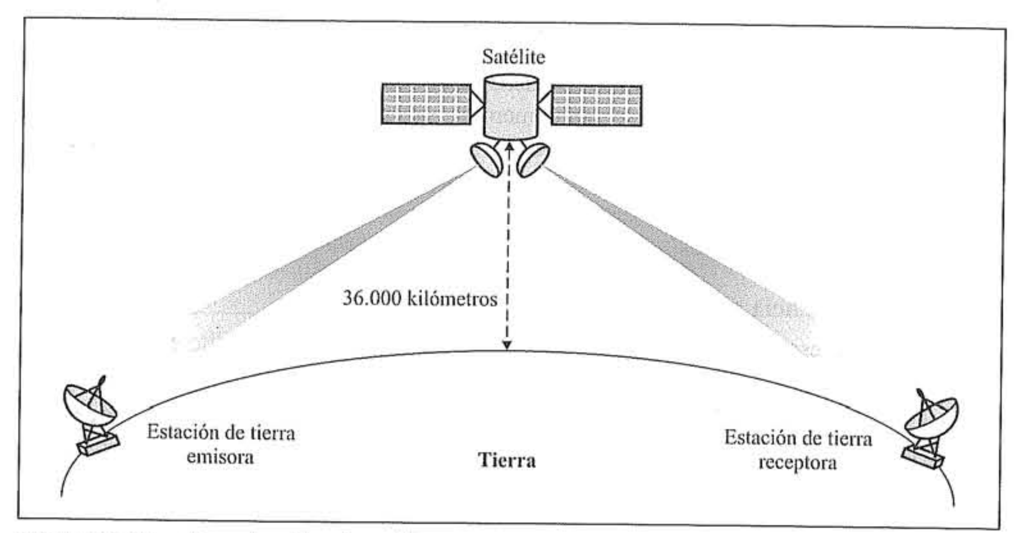


Figura 7.34. *Comunicación vía satélite.*

Las microondas vía satélite pueden proporcionar capacidad de transmisión a y desde cualquier localización en la tierra, sin importar lo remota que esta sea. Esta ventaja hace que las comunicaciones de alta calidad estén disponibles en lugares no desarrollados del mundo sin necesidad de hacer grandes inversiones en infraestructura de tierra. Por supuesto, los satélites en sí mismos son extremadamente caros, pero alquilar tiempo o frecuencias de uno de ellos puede ser relativamente barato.

Satélites geosincrónicos

La propagación por línea de vista necesita que las antenas emisoras y receptoras estén fijas/estáticas con respecto a la localización de las demás en todo momento (una antena debe poder ver a la otra). Por esta razón, un satélite que se mueve más deprisa o más despacio que la rotación de la tierra es útil únicamente para periodos de tiempo cortos (de la misma forma que un reloj parado solamente es exacto dos veces al día). Para asegurar una comunicación constante, el satélite debe moverse a la misma velocidad que la tierra de forma que parezca que está fijo en un cierto punto. Estos satélites se llaman geosincrónicos.

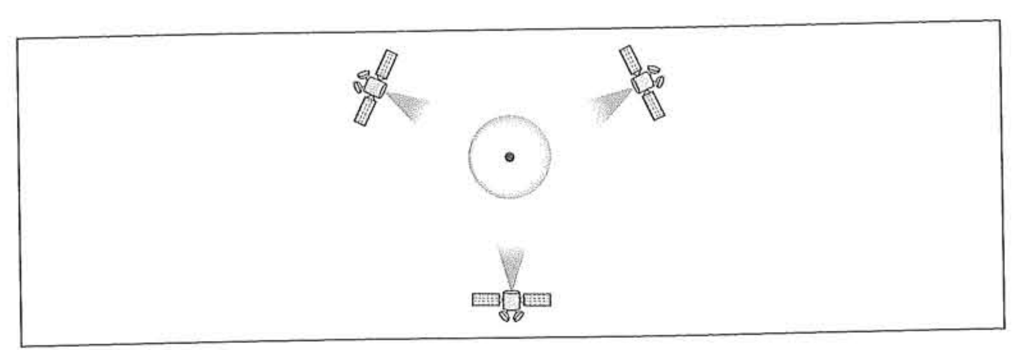


Figura 7.35. *Satélites en órbita geosincrónica.*

Debido a que la velocidad orbital depende de la distancia desde el planeta, solamente hay una órbita que puede ser geosincrónica. Esta órbita se produce en el plano ecuatorial y está aproximadamente a 36.000 kilómetros de la superficie de la tierra.

Pero un único satélite geosincrónico no puede cubrir toda la tierra. Un satélite en órbita tiene contacto por línea de vista con un gran número de estaciones, pero la curvatura de la tierra sigue haciendo que gran parte del planeta todavía no se pueda ver. Por ello, es necesario tener un mínimo de tres satélites equidistantes entre sí en **órbita geosincrónica** para proporcionar una transmisión global completa. La Figura 7.35 muestra tres satélites, separados 120 grados entre sí en una órbita geosincrónica alrededor del ecuador. Es una vista desde el Polo Norte.

Bandas de frecuencia para comunicación por satélite

Las frecuencias reservadas para la comunicación por microondas vía satélite están en el rango de los gigaherzios (GHz). Cada satélite envía y recibe dos bandas distintas. La transmisión desde la tierra al satélite se denomina **enlace ascendente.** La transmisión desde el satélite a la tierra se denomina **enlace descendente.** La Tabla 7.2 muestra los nombres de las bandas de frecuencias para cada rango.

Telefonía celular

La **telefonía celular** se diseñó para proporcionar conexiones de comunicaciones estables entre dos dispositivos móviles o entre una unidad móvil y una unidad estacionaria (tierra). Un proveedor de servicios debe ser capaz de localizar y seguir al que llama, asignando un canal a la llamada y transfiriendo la señal de un canal a otro a medida que el dispositivo se mueve fuera del rango de un canal y dentro del rango de otro.

Para que este seguimiento sea posible, cada área de servicio celular se divide en regiones pequeñas denominadas células. Cada célula contiene una antena y está controlada por una

Tabla 7.2. *Bandas de frecuencias para satélite*

Banda	*Enlace descendente*	*Enlace ascendente*
C	3,7 a 4,2 GHz	5,925 a 6,425 GHz
Ku	11,7 a 12,2 GHz	14 a 14,5 GHz
Ka	17,7 a 21 GHz	27,5 a 31 GHz

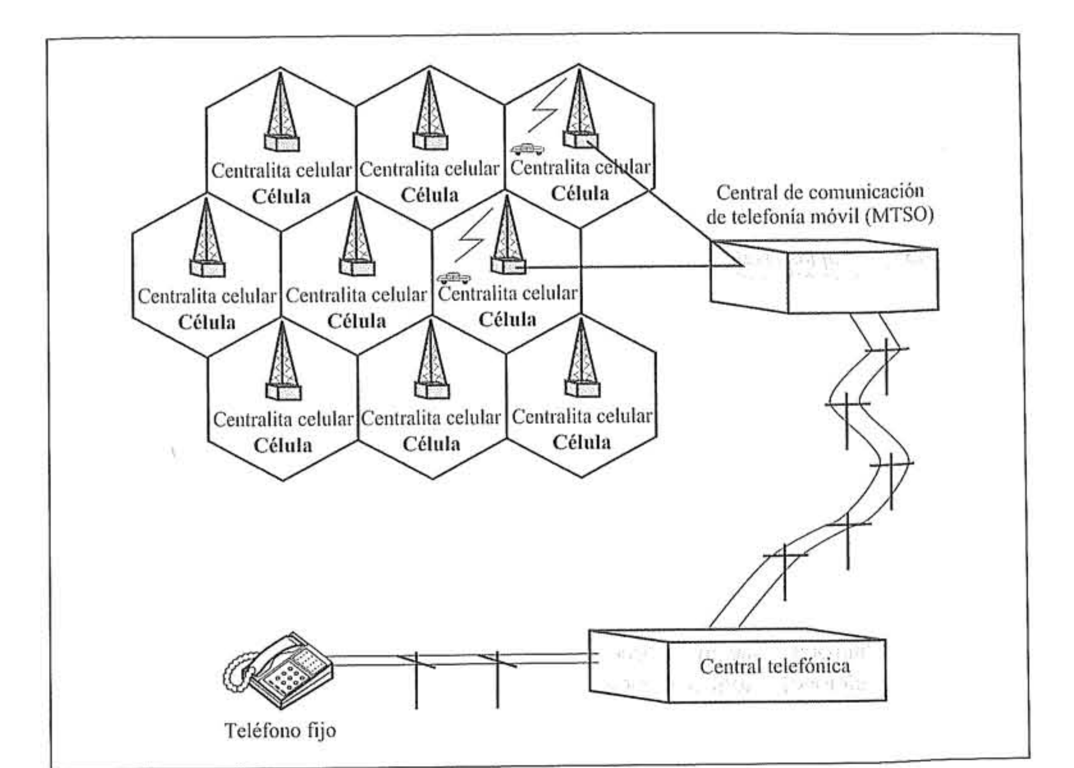


Figura 7.36. *Sistema celular.*

pequeña central, denominada central de célula. A su vez, cada central de célula está controlada por una central de conmutación denominada **central de conmutación de telefonía móvil (MTSO,** *Mobile telephone switching office*). La MTSO coordina las comunicaciones entre todas las centrales de célula y la central telefónica. Es un centro computerizado que es responsable de conectar las llamadas y de grabar información sobre la llamada y la facturación (véase la Figura 7.36).

El tamaño de la célula no es fijo y puede ser mayor o menor dependiendo de la población del área. El radio típico de una célula está entre 2 y 20 kilómetros. Las áreas con alta densidad necesitan más células geográficamente más pequeñas para satisfacer las demandas de tráfico que las áreas de baja densidad de población. Una vez calculado, el tamaño de células se puede optimizar para prevenir las interferencias de las señales de las células adyacentes. La potencia de la transmisión de cada célula se mantiene baja para prevenir que su señal interfiera a las de otras células.

Bandas celulares

La transmisión celular tradicional es analógica. Para minimizar el ruido, se usa modulación en frecuencia (FM) entre los teléfonos móviles y la central de célula. La FCC asigna dos bandas para uso celular (véase la Figura 7.37). La banda entre 824 y 849 MHz lleva todas las comunicaciones que se inician en dispositivos móviles. La banda entre 869 y 894 MHz transporta las comunicaciones que se inician desde los teléfonos fijos. Las frecuencias portadoras se reparten cada 30 KHz, lo que permite que cada banda pueda soportar hasta 833 portado-

416 canales 416 canales
824 MHz 849 MHz 869 MHz 894 MHz

Figura 7.37. *Bandas celulares.*

ras. Sin embargo, es necesario usar dos portadoras para comunicación dúplex, lo que dobla el ancho de banda necesario para cada canal hasta los 60 KHz y deja únicamente 416 canales disponibles para cada banda.

Por tanto, cada banda se divide en 416 canales FM (de un total de 832 canales). De estos, algunos quedan reservados para datos de control y activación en lugar de comunicación de voz. Además, para prevenir interferencias, los canales se distribuyen entre las células de forma que las células adyacentes no usen los mismos canales. Esta restricción significa que cada célula tiene acceso normalmente únicamente a 40 canales.

Transmisión

Para hacer una llamada desde un teléfono móvil, el usuario introduce un código de 7 o 10 dígitos (un número de teléfono) y aprieta el botón de enviar. En ese momento, el teléfono móvil barre la banda, buscando un canal de inicio con una señal potente y envía los datos (número de teléfono) a la central de célula más cercana que usa ese canal. La central de célula retransmite los datos a la MTSO. La MTSO envía los datos a la central telefónica central. Si el destinatario de la llamada está disponible, se establece la conexión y se devuelven los resultados a la MTSO. En este momento, la MTSO asigna un canal de voz sin usar a la llamada y se establece la conexión. El teléfono móvil ajusta automáticamente su sintonía para el nuevo canal y se comienza la transmisión de voz.

Recepción

Cuando un teléfono fijo hace una llamada a un teléfono móvil, la central telefónica envía el número a la MTSO. La MTSO localiza al teléfono móvil enviando preguntas a cada célula en un proceso denominado radiolocalización (*paging*). Una vez que se ha encontrado el dispositivo móvil, la MTSO transmite una señal de llamada y cuando responde el dispositivo móvil, le asigna un canal de voz, permitiendo que comiencen las transmisiones.

Transferencia

Puede ocurrir que durante una conversación, el dispositivo móvil se mueva de una célula a otra. Cuando lo hace, la señal se puede debilitar. Para resolver este problema, la MTSO monitoriza el nivel de la señal cada pocos segundos. Si la potencia de la señal disminuye, la MTSO busca una nueva célula que pueda acomodar mejor esa comunicación. En ese momento, la MTSO cambia el canal que transporta la llamada (transfiere la señal del canal antiguo a uno nuevo). Las transferencias se llevan a cabo tan suavemente que la mayoría de las veces son transparentes a los usuarios.

Digital

Los servicios analógicos celulares (FM) se basan en un estándar denominado circuito conmutado celular analógico (ACSC). Para transmitir datos digitales usando un servicio ACSC es necesario tener un módem con una velocidad máxima de 9.600 a 19.200 bps.

Sin embargo, desde 1993, varios proveedores de servicios empezaron a usar un estándar de telefonía celular denominado paquetes de datos digitales celulares (CDPD). CDPD proporciona un servicio digital de baja velocidad a través de la red celular existente. Se basa en el modelo OSI.

Para usar los servicios digitales existentes, tales como servicios de conmutación de 56 Kbps, CDPD usa lo que se denomina un trisector. Un trisector es una combinación de tres células, cada una de las cuales usa 19,2 Kbps, que permite obtener un total de 57,6 Kbps (que se pueden acomodar sobre una línea conmutada de 56K eliminando alguna sobrecarga). Siguiendo este esquema, los Estados Unidos se han dividido en 12.000 trisectores. Hay un encaminador para cada 60 trisectores.

Integración con satélites y PC

La telefonía celular se está trasladando muy rápidamente hacia la integración del sistema existente en la comunicación vía satélite. Esta integración hará posible tener comunicaciones móviles entre dos puntos cualquiera de la tierra. Otro objetivo es combinar la telefonía celular y la comunicación de las computadoras personales usando un esquema denominado comunicación personal móvil para permitir usar pequeñas computadoras personales móviles para enviar y recibir datos, voz, imagen y vídeo.

7.3. DETERIORO DE LA TRANSMISIÓN

Los **medios de transmisión** no son perfectos. Las imperfecciones pueden causar deterioros en las señales que se envían a través de los medios. Esto significa que la señal al principio y al final del medio es distinta. Lo que se ha enviado no es lo recibido. Habitualmente ocurren tres tipos de deterioro: atenuación, distorsión y ruido (véase la Figura 7.38).

Atenuación

La **Atenuación** significa pérdida de energía. Cuando una señal, simple o compleja, viaja a través de un medio, pierde algo de su energía para vencer la resistencia del medio. Esta es la razón por la cual los cables que llevan señales eléctricas se calientan, si no arden, después de un cierto tiempo. Parte de la energía eléctrica de la señal se convierte en calor. Para compensar esta pérdida, se usan amplificadores para amplificar la señal. La Figura 7.39 muestra el efecto de la atenuación y la amplificación.

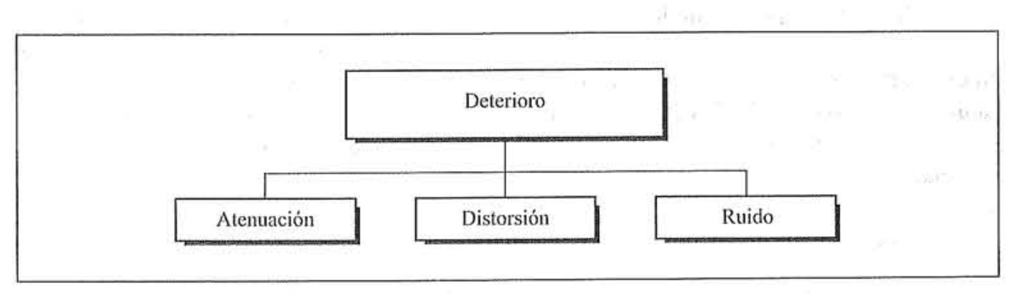


Figura 7.38. *Tipos de deterioro.*

Figura 7.39. *Atenuación.*

Decibelio

Para medir la potencia que una señal ha perdido o ganado, los ingenieros usan el concepto de decibelio. El **decibelio (dB)** mide las potencias relativas de dos señales o de una señal en dos puntos distintos. Observe que el dB es negativo si una señal se ha atenuado y positivo si una señal se ha amplificado.

$$dB = 10 \log_{10}(P_2/P_1)$$

donde P_1 y P_2 representan la potencia de la señal en los puntos 1 y 2.

Ejemplo 7.1

Imagine que la señal viaja a través de un medio de transmisión y que su potencia se reduce a la mitad. Esto significa que $P_2 = (1/2)\ P_1$. En este caso, la atenuación (pérdida de señal) se puede calcular como

$$10 \log_{10}(P_2/P_1) = 10 \log_{10}(0{,}5\ P_1/P_1) = 10 \log_{10}(0{,}5) = 10\ (-0{,}3) = -3\ dB$$

Los ingenieros saben que –3dB, o una pérdida de 3 dB, es equivalente a perder la mitad de potencia.

Ejemplo 7.2

Imagine una señal que viaja a través de un amplificador y cuya potencia se incrementa 10 veces. Esto significa que $P_2 = 10 \times P_1$. En este caso la amplificación (ganancia) se puede calcular como

$$10 \log_{10}(P_2/P_1) = 10 \log_{10}(10\ P_1/P_1) = 10 \log_{10}(10) = 10\ (1) = 10\ dB$$

Ejemplo 7.3

Una de las razones por la que los ingenieros usan los decibelios para medir los cambios de potencia de una señal es que los números decibelios se pueden sumar (o restar) cuando se miden varios puntos en lugar de en dos (cascada). La Figura 7.40 muestra una señal que viaja una larga distancia desde el punto 1 al punto 4. La señal está atenuada para cuando alcanza el punto 2. Entre los puntos 2 y 3, se amplifica la señal. De nuevo, entre los puntos 3 y 4, la señal se atenúa. Se pueden obtener los dB resultantes para la señal sin más que sumar los dB medidos entre cada par de puntos.

En este caso, los decibelios se pueden calcular como

$$dB = -3 + 7 - 3 = +1$$

Lo que significa que la señal ha ganado potencia.

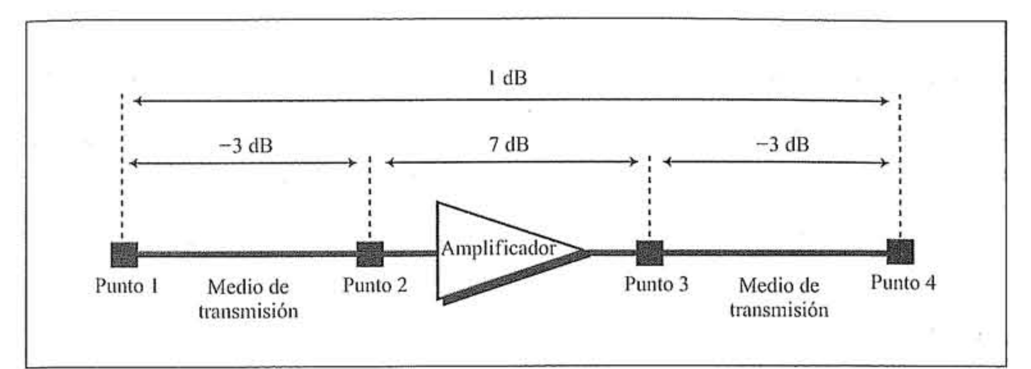


Figura 7.40. *Ejemplo 7.3.*

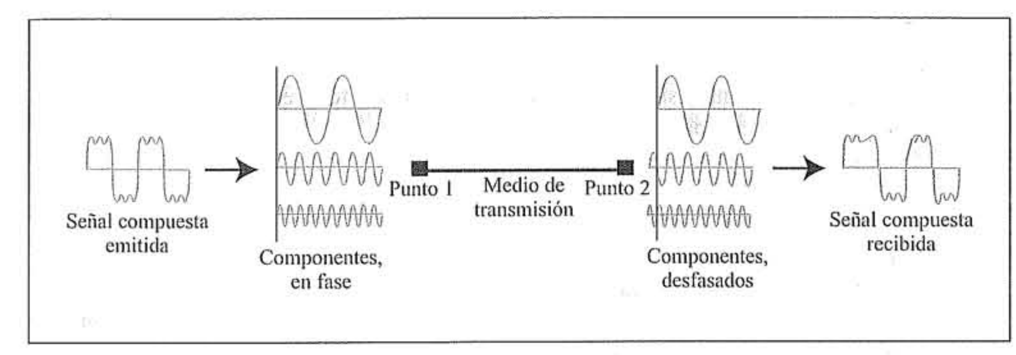


Figura 7.41. *Distorsión.*

Distorsión

La **distorsión** significa que la señal cambia su forma de onda. La distorsión ocurre en una señal compuesta, formada por distintas frecuencias. Cada señal componente tiene su propia velocidad de propagación (véase la sección siguiente) a través del medio y, por tanto, su propio retraso en la llegada al destino final. La Figura 7.41 muestra el efecto de la distorsión en la señal compuesta.

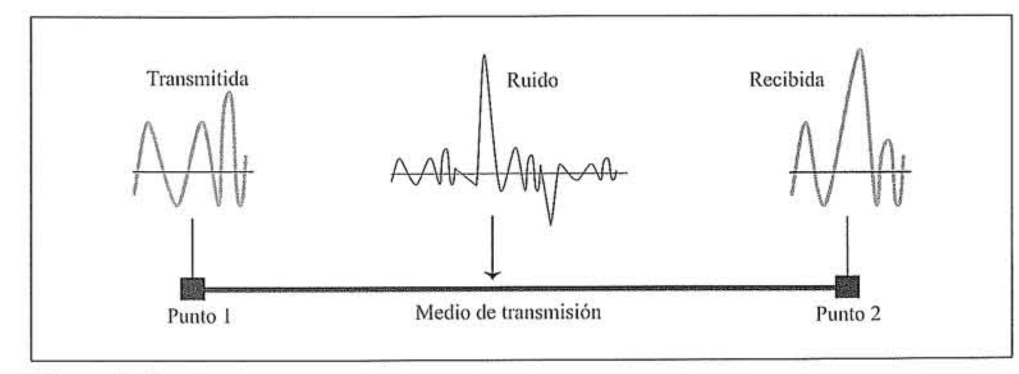


Figura 7.42. *Ruido.*

Ruido

El **ruido** es otro problema. Hay varios tipos de ruido, como el ruido térmico, ruido inducido, diafonía y ruidos impulsivos que pueden corromper una señal. El ruido térmico se debe al movimiento aleatorio de electrones en un cable que crea una señal extra no enviada originalmente por el transmisor. El ruido inducido se debe a fuentes externas tales como motores y electrodomésticos. Estos dispositivos actúan como antenas emisoras y el medio de transmisión actúa como la antena receptora. La diafonía se debe al efecto de un cable sobre otro. Un cable actúa como una antena emisora y el otro como una antena receptora. El ruido impulsivo es un pico (una señal con energía alta en un periodo de tiempo muy corto) que procede de líneas de potencia, iluminación, etc. La Figura 7.42 muestra el efecto del ruido sobre una señal.

7.4. PRESTACIONES

Los medios de transmisión son caminos por los que viajan los datos. Para medir las prestaciones de los medios de transmisión se pueden usar tres conceptos: rendimiento, velocidad de propagación y tiempo de propagación.

Rendimiento

El **rendimiento** es la medida de la velocidad con que los datos pueden pasar a través de un punto. En otras palabras, si se considera cualquier punto del medio de transmisión como una pared a través de la cual pasan los bits, el rendimiento indica el número de bits que pueden pasar esta pared en un segundo. La Figura 7.43 muestra este concepto.

Velocidad de propagación

La **velocidad de propagación** mide la distancia a la cual una señal de bit puede viajar a través de un medio en un segundo. La velocidad de propagación de las señales electromagnéticas depende del medio y de la frecuencia de la señal. Por ejemplo, la luz se propaga en el vacío con una velocidad de 3×10^8 m/s. Es casi la misma en un cable de par trenzado. Sin embargo, en los cables coaxiales y de fibra óptica la velocidad es 2×10^8 m/s para frecuencias en un rango de MHz a GHz.

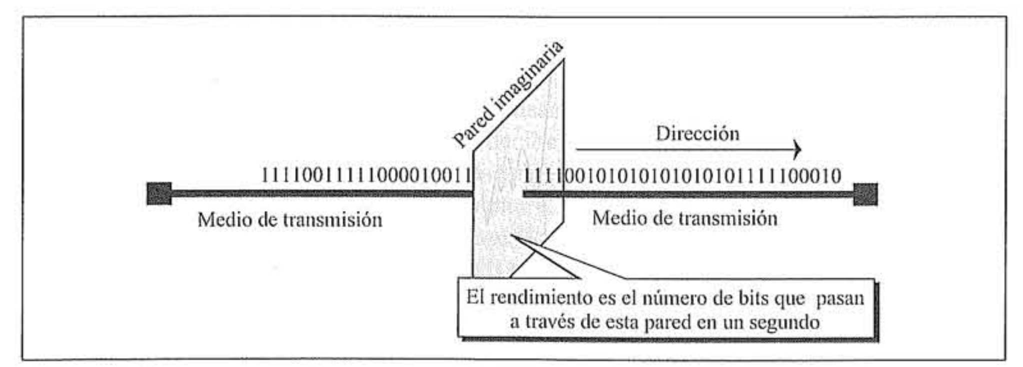


Figura 7.43. *Rendimiento.*

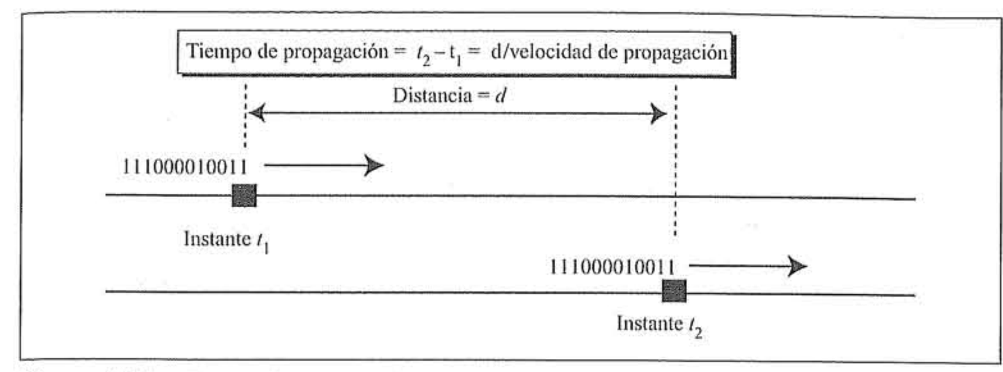


Figura 7.44. *Tiempo de propagación.*

Tiempo de propagación

El **tiempo de propagación** mide el tiempo necesario para que una señal (o un bit) viaje de un punto de un medio de transmisión a otro. El tiempo de propagación se calcula dividiendo la distancia por la velocidad de propagación.

Tiempo de propagación = Distancia/Velocidad de propagación

La Figura 7.44 describe este concepto.

Habitualmente, el tiempo de propagación se normaliza en kilómetros. Por ejemplo, el tiempo de propagación para un par trenzado normalizado en kilómetros es:

Tiempo de propagación = 1.000 m/(3×10^8 m/s) = $3{,}33 \times 10^{-6}$ s/m = 3,33 μs/km

Para el cable coaxial o de fibra óptica, habitualmente es:

Tiempo de propagación = 1.000 m/(2×10^8 m/s) = 5×10^{-6} s/m = 5 μs/km

7.5. LONGITUD DE ONDA

La **longitud de onda** es otra característica de una señal que viaja a través de un medio de transmisión. La longitud de onda relaciona el periodo o la frecuencia de una onda seno aislada con la velocidad de propagación del medio. En otras palabras, mientras la frecuencia de una señal es independiente del medio, la longitud de onda depende tanto de la frecuencia como del medio. Aunque la longitud de onda se puede asociar a señales eléctricas, es obligatorio

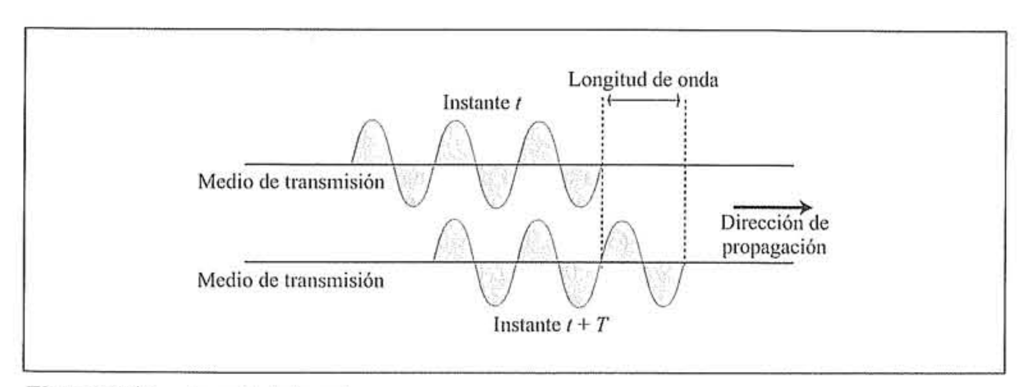


Figura 7.45. *Longitud de onda.*

usar longitudes de onda cuando se habla de transmisiones de luz en una fibra óptica. La longitud de onda es la distancia que una señal aislada puede viajar en un periodo (véase la Figura 7.45).

La longitud de onda se puede calcular mediante la velocidad de propagación y el periodo de la señal:

Longitud de onda = Velocidad de propagación × Periodo

Sin embargo, puesto que el periodo y la frecuencia están relacionados entre sí, se puede decir también:

Longitud de onda = Velocidad de propagación × (1/Frecuencia) = Velocidad de propagación/Frecuencia

Si se representa la longitud de onda por λ, la velocidad de propagación por c y la frecuencia por f, se obtiene:

$$\lambda = c/f$$

Habitualmente, la longitud de onda se mide en micrómetros (micras) en lugar de metros. Por ejemplo, la longitud de onda de la luz roja (frecuencia = 4×10^{14}) en el aire es:

$$\lambda = c/f = (3 \times 10^{8})/(4 \times 10^{14}) = 0{,}75 \times 10^{-6} \text{ m} = 0{,}75\ \mu$$

Sin embargo, en un cable de fibra óptica o coaxial, la longitud de onda es menor (0,5 µm) debido a que la velocidad de propagación en el cable es menor que en el aire.

7.6. CAPACIDAD DE SHANNON

Los ingenieros suelen estar interesados en conocer la máxima tasa de datos de un canal. En 1944, Claude Shannon definió una fórmula para determinar la máxima tasa de datos teórica de un canal:

$$C = B \log_2 (1 + S/N)$$

En esta fórmula, B es el ancho de banda del canal, S/N es la razón señal/ruido y C es la capacidad (denominada **capacidad de Shannon**) del canal en bps.

Ejemplo 7.4

Sea un canal extremadamente ruidoso en el cual el valor de la relación señal ruido es casi cero. En otras palabras, el ruido es tan alto que la señal es muy débil. Para este canal, la capacidad se calcula como:

$$C = B \log_2 (1 + S/N) = B \log_2 (1 + 0) = B \log_2 (1) = B \times 0 = 0$$

Esto significa que la capacidad de este canal es 0 independientemente de su ancho de banda. En otras palabras, no se pueden enviar datos a través de este canal.

Ejemplo 7.5

Vamos a calcular la tasa de bit máxima teórica para una línea telefónica regular. Una línea telefónica tiene habitualmente un ancho de banda de 3.000 Hz (300 Hz a 3.300 Hz). La razón señal/ruido es habitualmente 3.162 (35 dB). La capacidad de este canal se calcula así:

$$C = B \log_2 (1 + S/N) = 3.000 \log_2 (1 + 3.162) = 3.000 \log_2 (3.163) = 3.000 \times 11{,}62 = 34.860 \text{ bps}$$

Esto significa que la tasa de bit máxima para una línea telefónica es 34.860 Kbps. Si se quiere enviar datos más rápido, sería necesario incrementar el ancho de banda de la línea o mejorar la razón ruido-señal.

7.7. COMPARACIÓN DE MEDIOS

Cuando se evalúa la viabilidad de un medio en particular para una aplicación específica, hay que tener en cuenta cinco factores: coste, velocidad, atenuación, interferencia electromagnética y seguridad.

- **Coste.** Coste de los materiales junto con el de la instalación.
- **Velocidad.** Máximo número de bits por segundo que un medio puede transmitir de forma fiable. Entre otros factores, la velocidad varía con la frecuencia (frecuencias más altas pueden transportar más bits por segundo), con el tamaño físico del medio y/o el equipo de transporte y con las condiciones del conductor.
- **Atenuación.** Como se dijo anteriormente, la atenuación es la tendencia de una señal electromagnética a debilitarse o distorsionarse con la distancia. Durante la transmisión, la energía de la señal puede resultar absorbida o disipada por el medio. Por ejemplo, la resistencia de un cable puede extraer energía de una señal y disiparla en forma de calor.
- **Interferencia electromagnética (EMI).** La interferencia electromagnética (EMI) es la sensibilidad del medio a la energía electromagnética externa que se introduce inadvertidamente en un enlace y que interfiere con la inteligibilidad de la señal. Efectos familiares del EMI son la interferencia estática (audio) y el efecto de nieve (visual).
- **Seguridad.** Esta parte considera la protección frente a intrusos. ¿Con qué facilidad puede un dispositivo no autorizado escuchar en el enlace? Algunos medios, como las transmisiones de radio y los cables de par trenzado sin blindaje, son fácilmente interceptables. Otros, como los cables de fibra óptica, son más seguros.

La Tabla 7.3 compara los distintos medios basándose en las cualidades descritas anteriormente.

Tabla 7.3. *Rendimientos de los medios de transmisión*

Medio	*Coste*	*Velocidad*	*Atenuación*	*EMI*	*Seguridad*
UTP	Bajo	1–100 Mbps	Alto	Alto	Bajo
STP	Moderado	1–150 Mbps	Alto	Moderado	Bajo
Coaxial	Moderado	1 Mbps–1Gbps	Moderado	Moderado	Bajo
Fibra óptica	Ato	10 Mbps–1Gbps	Bajo	Bajo	Alto
Radio	Moderado	1–10 Mbps	Baja–Alta	Alto	Bajo
Microondas	Alto	1 Mbps–10 Gbps	Variable	Alto	Moderado
Satélite	Alto	1 Mbps–10 Gbps	Variable	Alto	Moderado
Celular	Alto	9,6–19,2 Kbps	Bajo	Moderado	Bajo

7.8. TÉRMINOS Y CONCEPTOS CLAVE

ángulo crítico
ángulo de incidencia
ángulo de reflexión
ángulo de refracción
antena de cornete
antena parabólica
atenuación
cable coaxial
cable de par trenzado
capacidad de Shannon
central de conmutación de telefonía móvil (MTSO)
comunicación sin cables
cruces
cubierta
decibelio (dB)
diodo emisor de luz (LED)
distorsión
enlace ascendente
enlace descendente
espectro electromagnético
fibra monomodo
fibra multimodo de índice de gradiente gradual
fibra multimodo de índice escalonado
fibra óptica
frecuencia alta (HF)
frecuencia baja (LF)
frecuencia extremadamente alta (EHF)
frecuencia media (MF)
frecuencia muy alta (VHF)
frecuencia muy baja (VLF)
frecuencia súper alta (SHF)
frecuencia ultra alta (UHF)
interferencia electromagnética (EMI)
ionosfera
láser
longitud de onda
luz infrarroja
medio de transmisión
medio guiado
medio no guiado
microondas
microondas terrestre
onda de radio
órbita geosincrónica
par trenzado blindado (STP)
par trenzado sin blindaje (UTP)
propagación de visión directa
propagación espacial
propagación ionosférica
propagación troposférica
reflexión
refracción
rendimiento
ruido
telefonía celular
terminador
tiempo de propagación
transmisión por microondas
troposfera
velocidad de propagación

7.9. RESUMEN

- Las señales pueden viajar del transmisor al receptor a través de un camino. Este camino, denominado medio, puede ser guiado o no guiado.

- Un medio guiado está limitado por fronteras físicas, mientras que un medio no guiado no está acotado.
- Los tipos más populares de medios guiados son los siguientes:
  a. Cable de par trenzado (metálico).
  b. Cable coaxial (metálico).
  c. Fibra óptica (cristal o plástico).
- Un cable de par trenzado está formado por dos hilos de cobre aislados trenzados uno con otro. El trenzado permite que ambos cables tengan aproximadamente el mismo entorno de ruido.
- Un cable de par trenzado blindado está formado por dos pares aislados envueltos por una cubierta metálica o una malla.
- Un cable coaxial tiene los siguientes elementos (empezando desde el centro):
  a. Un conductor metálico interno.
  b. Un aislante que cubre el núcleo.
  c. Un conductor metálico externo (blindaje).
  d. Un aislante que cubre el blindaje.
  e. Una cubierta plástica.
- Tanto el cable de par trenzado como el cable coaxial transmiten datos en forma de corriente eléctrica.
- Los cables de fibra óptica están formados por un núcleo interno de vidrio o plástico rodeado por una cubierta, y todo ello cerrado dentro de una carcasa exterior.
- Los cables de fibra óptica transportan la señal de datos en forma de luz. La señal se propaga por el núcleo interno por reflexión.
- Las transmisiones con fibra óptica se están volviendo cada vez más populares debido a su resistencia al ruido, baja atenuación y gran ancho de banda.
- En la fibra óptica, la propagación de señal puede ser multimodo (múltiples haces desde una fuente de luz) o monomodo (esencialmente un rayo desde una fuente de luz).
- En la propagación multimodo de índice escalonado, la densidad del núcleo es constante y el haz de luz cambia la dirección de repente en la interfaz entre el núcleo y su cubierta.
- En la propagación multimodo de índice de gradiente gradual, la densidad del núcleo disminuye con la distancia al centro. Esto hace que los haces de luz se curven.
- Las ondas de radio se pueden usar para transmitir datos. Estas ondas usan medios no guiados y habitualmente se propagan a través del aire.
- Las autoridades reguladoras han dividido y definido los usos para el espectro electromagnético en relación a la comunicación por radio.
- La propagación de ondas de radio depende de la frecuencia. Hay cinco tipos de propagación:
  a. Propagación en superficie.
  b. Propagación troposférica.
  c. Propagación ionosférica.
  d. Propagación en visión directa.
  e. Propagación espacial.

- Las ondas VLF y LF usan propagación en superficie. Estas ondas siguen el contorno de la tierra.
- Las ondas MF se propagan en la troposfera, bien a través de propagación por línea de vista desde el transmisor al receptor o a través de reflexión, usando la ionosfera como límite superior.
- Las ondas HF viajan a la ionosfera, donde son reflejadas de nuevo a un receptor situado en la troposfera.
- Las ondas VHF y UHF usan propagación por visión directa; el transmisor y el receptor deben tener un camino sin obstáculos entre ellos; no debe haber edificios altos o colinas en esa trayectoria.
- Las ondas VHF, UHF, SHF y EHF pueden ser propagadas y recibidas por satélites espaciales.
- Las microondas terrestres usan propagación de visión directa para la transmisión de datos.
- Se usan repetidores para incrementar la distancia que pueden recorrer las microondas.
- Las antenas parabólicas y las antenas de cornete se usan para la transmisión y recepción de microondas.
- Las comunicaciones vía satélite usan un satélite en órbita geosincrónica para retransmitir la señal. Un sistema formado por tres satélites correctamente espaciados puede cubrir toda la tierra.
- La órbita geosincrónica es aquella situada en el plano ecuatorial y aproximadamente a 36.000 kilómetros de la tierra.
- La telefonía celular proporciona comunicaciones móviles.
- El sistema celular está formado por teléfonos móviles, células, MTSO y la central de telefonía.
- La atenuación, la distorsión y el ruido pueden deteriorar una señal.
- La atenuación es la pérdida de energía de una señal debido a la resistencia del medio.
- Los decibelios miden la potencia relativa de dos señales o de una señal en dos puntos distintos.
- La distorsión es la alteración de una señal debida a las distintas velocidades de propagación de cada una de las frecuencias que forman la señal.
- El ruido es la energía externa que corrompe una señal.
- Se pueden evaluar los medios de transmisión mediante su redimiento, velocidad de propagación y tiempo de propagación.
- La longitud de onda de una frecuencia se define como la velocidad de propagación dividida por la frecuencia.
- La capacidad de Shannon es una fórmula que determina la tasa de datos máxima teórica para un canal.
- Hay cinco factores a considerar cuando se evalúa la viabilidad de un medio: coste, velocidad, atenuación, EMI y seguridad.

7.10. MATERIAL PRÁCTICO

Preguntas de revisión

1. ¿Qué parte del espectro electromagnético se usa para comunicación?
2. Indique las dos categorías principales de los medios de transmisión.
3. ¿En qué se distinguen los medios guiados de los medios no guiados?
4. ¿Cuáles son las tres clases principales de medios guiados?
5. ¿Cuál es la ventaja principal del par trenzado blindado sobre el par trenzado normal?
6. ¿Por qué el cable coaxial es superior al cable de par trenzado?
7. ¿Qué le ocurre a un haz de luz cuando pasa a un medio menos denso? ¿Qué pasa si cruza a un medio más denso?
8. Un haz de luz viaja a través de un medio menos denso. ¿Qué ocurre al haz en cada uno de los casos siguientes?:
   a. El ángulo de incidencia es menor que el ángulo crítico.
   b. El ángulo de incidencia es igual al ángulo crítico.
   c. El ángulo de incidencia es mayor que el ángulo crítico.
9. ¿Qué es la reflexión?
10. Hable sobre los modos de propagación de la luz por los canales ópticos.
11. ¿Cuál es el objetivo de la cubierta de la fibra óptica? Hable acerca de la densidad relativa respecto al núcleo.
12. Indique las ventajas de la fibra óptica sobre el cable de par trenzado y coaxial.
13. ¿Cuáles son las desventajas de la fibra óptica como medio de transmisión?
14. ¿Cuál es el rango de frecuencia para comunicación por radio?
15. ¿Cuáles son los métodos usados para propagar ondas de radio?
16. ¿Cómo se retransmiten las microondas terrestres del origen al destino?
17. ¿Por qué se realizan las comunicaciones vía satélite en órbita geosincrónica?
18. ¿Qué es la transferencia en la telefonía celular?
19. Indique tres tipos de deterioro de la transmisión.
20. ¿Qué mide un decibelio?
21. ¿Cuáles son los tres criterios utilizados para evaluar los medios de transmisión?
22. ¿Cuál es la relación entre velocidad de propagación y tiempo de propagación?
23. ¿Cuál es la longitud de onda de una señal y cómo se calcula?
24. ¿Qué tiene que ver la capacidad de Shannon con las comunicaciones?
25. Explique lo que son los cruces y por qué es necesario reducirlos.
26. Describa los componentes de un cable de fibra óptica. Haga un dibujo.
27. ¿Por qué debería un rayo de luz ser reflectivo en lugar de refractivo en la fibra óptica?
28. Describa los niveles de la atmósfera. ¿Qué tipo de comunicación por radio se usa en cada uno?
29. ¿Cómo funciona la propagación ionosférica? ¿Cuáles son los usos para este tipo de propagación?
30. ¿Por qué hay un límite de distancia para las microondas terrestres? ¿Qué factores son necesarios para calcular este límite?
31. En un cable de fibra óptica ¿es la energía luminosa de la fuente igual a la energía luminosa recuperada en el destino? Hable de ello relacionándolo con el modo de propagación.

Preguntas con respuesta múltiple

32. Los medios de transmisión se clasifican habitualmente como _____.
    a. fijos o no fijos
    b. guiados o no guiados
    c. determinados o indeterminados
    d. metálicos o no metálicos
33. Un cable _____ está formado por un núcleo interno de cobre y una segunda cubierta exterior conductora.
    a. par trenzado
    b. coaxial
    c. fibra óptica
    d. par trenzado blindado
34. En la fibra óptica, el origen de la señal son ondas de _____.
    a. luz
    b. radio
    c. infrarrojos
    d. frecuencia muy baja
35. En el extremo más bajo del espectro electromagnético están las _____.
    a. ondas de radio
    b. potencia y voz
    c. luz ultravioleta
    d. luz infrarroja
36. _____ son las ondas electromagnéticas de alta frecuencia que se usan para comunicaciones de datos.
    a. ondas de luz visible
    b. rayos cósmicos
    c. ondas de radio
    d. rayos gamma
37. Las señales de humo son un ejemplo de comunicación a través de _____.
    a. un medio guiado
    b. un medio sin guiar
    c. un medio refractivo
    d. un medio pequeño o grande
38. ¿Cuál de los siguientes usa principalmente un medio guiado?
    a. sistema de telefonía celular
    b. sistema telefónico local
    c. comunicaciones vía satélite
    d. emisiones de radio
39. ¿Cuál de los siguientes no es un medio guiado?
    a. cable de par trenzado
    b. cable coaxial
    c. cable de fibra óptica
    d. atmósfera
40. En un entorno en el cual hay muchos dispositivos de alto voltaje, el mejor medio de transmisión sería _____.
    a. cable de par trenzado
    b. cable coaxial

    c. fibra óptica
    d. la atmósfera
41. ¿Cuál es el factor principal que hace que el cable coaxial sea menos susceptible al ruido que el cable de par trenzado?
    a. conductor interno
    b. diámetro del cable
    c. conductor externo
    d. material aislante
42. El número RG nos da información acerca de _____.
    a. pares trenzados
    b. cables coaxiales
    c. fibra óptica
    d. todos los anteriores
43. En una fibra óptica el núcleo interno es _____ la cubierta.
    a. más denso que
    b. menos denso que
    c. de la misma densidad que
    d. otro nombre
44. El núcleo interno de una fibra óptica está compuesto por _____.
    a. vidrio plástico
    b. cobre
    c. bimetálico
    d. líquido
45. Cuando se están haciendo conexiones en la fibra óptica, ¿cuál de las siguientes cosas contribuiría a la distorsión de la señal?
    a. núcleos internos o fibras de conexión desalineadas angular o lateralmente.
    b. un intervalo entre las conexiones de los núcleos internos
    c. rugosidades en las caras de las fibras en conexión
    d. todo lo anterior
46. Las frecuencias de comunicación de radio van desde _____.
    a. 3 KHz a 300 KHz
    b. 300 KHz a 3 GHz
    c. 3 KHz a 300 GHz
    d. 3 KHz a 3.000 GHz
47. El espectro de comunicación por radio se divide en bandas basándose en _____.
    a. amplitud
    b. frecuencia
    c. coste y hardware
    d. medio de transmisión
48. En la propagación _____, las ondas de radio de baja frecuencia abrazan a la tierra.
    a. en superficie
    b. troposférica
    c. ionosférica
    d. espacial
49. El tipo de propagación que se usa en la comunicación por radio depende muy fuertemente de la _____ de la señal.
    a. tasa de datos

b. frecuencia
c. tasa de baudios
d. potencia

50. La propagación VLF se produce en _____.
a. la troposfera
b. la ionosfera
c. el espacio
d. todos los anteriores

51. Si un satélite está en órbita geosincrónica, completa una órbita en _____.
a. una hora
b. 24 horas
c. un mes
d. un año

52. Si un satélite está en órbita geosincrónica, su distancia a la estación emisora es _____.
a. constante
b. varía de acuerdo a la hora del día
c. varía de acuerdo al radio de la órbita
d. ninguna de las anteriores

53. Cuando un haz de luz viaja a través de un medio con dos densidades distintas, si el ángulo de incidencia es mayor que el ángulo crítico hay ____.
a. reflexión
b. refracción
c. incidencia
d. criticismo

54. Cuando el ángulo de refracción es ____ que el ángulo de incidencia, el rayo de luz se mueve de un medio más denso a un medio menos denso.
a. más que
b. menos que
c. igual que
d. ninguno de los anteriores

55. Si el ángulo crítico es 50 grados y el ángulo de incidencia es 60 grados, el ángulo de reflexión es _____ grados.
a. 10
b. 50
c. 60
d. 110

56. Si el ángulo de refracción es 90 grados y el ángulo de incidencia es 48 grados, el ángulo crítico es ____ grados.
a. 42
b. 48
c. 90
d. 138

57. Si el ángulo de refracción es 70 grados y el ángulo de incidencia es 50 grados, el ángulo crítico debe ser mayor que _____ grados.
a. 50
b. 60
c. 70
d. 120

58. En la propagación _____, el haz de luz propagado es casi horizontal y el núcleo de baja densidad tiene un diámetro menor comparado con los núcleos de otros modos de propagación.
a. multimodo de índice escalonado
b. índice de gradiente gradual multimodo
c. índice único multimodo
d. monomodo

59. La propagación _____ es el método sujeto a más distorsión.
a. multimodo de índice escalonado
b. multimodo con índice de gradiente gradual
c. índice único multimodo
d. monomodo

60. En la propagación ____, el núcleo tiene densidad variable.
a. multimodo de índice escalonado
b. multimodo con índice de gradiente gradual
c. índice único multimodo
d. monomodo

61. Cuando se habla de un medio no guiado, se está hablando habitualmente de _____.
a. cables metálicos
b. cables no metálicos
c. la atmósfera
d. ninguno de los anteriores

62. Las fibras ópticas, a diferencia de los cables, son altamente resistentes a _____.
a. transmisiones de alta frecuencia
b. transmisiones de baja frecuencia
c. interferencia electromagnética
d. refracción

63. En la telefonía celular, un área de servicio se divide en pequeñas regiones denominadas _____.
a. células
b. centrales de células
c. MTSOs
d. lugares de retransmisión

64. ¿Qué determina el tamaño de una célula?
a. el terreno
b. la población
c. el número de MTSO
d. todo lo anterior

65. La MTSO es responsable de _____.
a. conectar la célula con la central telefónica central
b. asignar canales de transmisión
c. efectuar funciones de facturación
d. todo lo anterior

66. La MTSO busca la localización de un teléfono móvil. Esto se denomina _____.
a. transferencia
b. ingerencia
c. radiolocalización
d. recepción

67. Una señal se mide en dos puntos distintos. La potencia es P_1 en el primer punto y P_2 en el segundo punto. El dB es 0. Esto significa que _____.
   a. P_2 es cero
   b. P_2 es igual a P_1
   c. P_2 es mucho mayor que P_1
   d. P_2 es mucho menor que P_1
68. _____ es un tipo de deterioro de la transmisión en el cual la señal pierde potencia debido a la resistencia del medio de transmisión.
   a. atenuación
   b. distorsión
   c. ruido
   d. decibelio
69. _____ es un tipo de deterioro de la transmisión en el cual la señal pierde potencia debido a la distinta velocidad de propagación de cada frecuencia que compone la señal.
   a. atenuación
   b. distorsión
   c. ruido
   d. decibelio
70. _____ es un tipo de deterioro de la transmisión en el cual una fuente externa, como un cruce, corrompe la señal.
   a. atenuación
   b. distorsión
   c. ruido
   d. decibelio
71. El rendimiento del medio de transmisión se puede medir por _____.
   a. rendimiento
   b. velocidad de propagación
   c. tiempo de propagación
   d. todos los anteriores
72. El _____ tiene unidades de metros/segundo o kilómetros/segundo.
   a. rendimiento
   b. velocidad de propagación
   c. tiempo de propagación
   d. b o c
73. _____ tiene unidades de bits/segundo.
   a. rendimiento
   b. velocidad de propagación
   c. tiempo de propagación
   d. b o c
74. El _____ tiene unidades de segundos.
   a. rendimiento
   b. velocidad de propagación
   c. tiempo de propagación
   d. b o c
75. Cuando la velocidad de propagación se multiplica por el tiempo de propagación, se obtiene el _____.
   a. rendimiento

   b. longitud de onda de la señal
   c. factor de distorsión
   d. distancia a que ha viajado una señal o un bit
76. El tiempo de propagación es _____ proporcional a la distancia y _____ proporcional a la velocidad de propagación.
   a. inversamente; directamente
   b. directamente; inversamente
   c. inversamente; inversamente
   d. directamente; directamente
77. La longitud de onda es _____ proporcional a la velocidad de propagación y _____ proporcional al periodo.
   a. inversamente; directamente
   b. directamente; inversamente
   c. inversamente; inversamente
   d. directamente; directamente
78. La longitud de onda de una señal depende de _____.
   a. frecuencia de la señal
   b. medio
   c. fase de la señal
   d. a y b
79. La longitud de onda de la luz verde en el aire es _____ la longitud de onda de la luz verde en un cable de fibra óptica.
   a. menor que
   b. mayor que
   c. igual a
   d. ninguno de los anteriores
80. Usando la fórmula de Shannon para calcular la tasa de datos de un canal determinado, si C = B, entonces _____.
   a. la señal es menor que el ruido
   b. la señal es mayor que el ruido
   c. la señal es igual al ruido
   d. no hay suficiente información para dar una respuesta

Ejercicios

81. Dado que la velocidad de la luz es 300.000 kilómetros/segundo y un satélite está en órbita geosincrónica, ¿cuánto costaría a la señal ir de la estación terrestre al satélite (tiempo mínimo)?
82. Un rayo de luz se mueve de un medio a otro menos denso. El ángulo crítico es de 60 grados. Dibuje el camino del rayo de luz a través de ambos medios cuando el ángulo de incidencia es:
   a. 40 grados
   b. 50 grados
   c. 60 grados
   d. 70 grados
   e. 80 grados
83. Una señal viaja del punto A al punto B. En el punto A, la potencia de señal es 100 vatios. En el punto B, la potencia de señal es 90 vatios. ¿Cuál es la atenuación en dB?

84. La atenuación de una señal es −10 dB. ¿Cuál es la potencia final de la señal si originalmente tenía 5 vatios?
85. Una señal ha pasado a través de tres amplificadores en cascada, cada uno de los cuales tenía una ganancia de 4 dB. ¿Cuál es la ganancia total? ¿Cuánto se ha amplificado la señal?
86. Los datos pasan a través de un punto de 100 kilobits cada cinco segundos. ¿Cuál es el rendimiento?
87. Si el rendimiento de la conexión entre un dispositivo y un medio de transmisión es 5 Kbps, ¿cuánto tiempo le costaría a este dispositivo enviar 100.000 bits?
88. La distancia entre la tierra y la luna es aproximadamente 400.000 kilómetros. ¿Cuánto tarda la luz en viajar desde la luna a la tierra?
89. La luz del sol tarda en llegar a la tierra aproximadamente ocho minutos. ¿Cuál es la distancia entre el sol y la tierra?
90. ¿Cuál es la longitud de onda de la luz infrarroja en el vacío? ¿Es más larga o más corta que la longitud de onda de la luz roja?
91. Una señal tiene una longitud de onda de 1 μm en el aire. ¿Cuánta distancia puede recorrer la onda durante cinco periodos?
92. La longitud de onda de la luz roja en una fibra es 0,5 μm. ¿Cuánto le cuesta a una onda llegar desde el principio de la fibra al final si la longitud de la fibra es de 2.000 kilómetros?
93. Una línea tiene una razón señal-ruido de 1.000 y un ancho de banda de 4.000 KHz. ¿Cuál es la tasa de datos máxima soportada por esta línea?
94. Se mide el rendimiento de una línea telefónica (4 KHz de ancho de banda). Cuando la señal es 10 voltios, el ruido es 5 milivoltios. ¿Cuál es la tasa de datos máxima soportada por esta línea telefónica?

CAPÍTULO 8
Multiplexación

Siempre que la capacidad de transmisión de un medio que enlaza dos dispositivos sea mayor que las necesidades de transmisión de los dispositivos, el enlace se puede compartir, de forma similar a como una gran tubería de agua puede llevar agua al mismo tiempo a varias casas separadas. La **multiplexación** es el conjunto de técnicas que permite la transmisión simultánea de múltiples señales a través de un único enlace de datos.

A medida que se incrementa el uso de los datos y las telecomunicaciones, se incrementa también el tráfico. Se puede hacer frente a este incremento añadiendo líneas individuales cada vez que se necesita un canal nuevo o se pueden instalar enlaces de más capacidad y usarlos para transportar múltiples señales. Como se dijo en el Capítulo 7, la tecnología actual incluye medios de gran ancho de banda, como el cable coaxial, la fibra óptica y las microondas terrestres y vía satélite. Cualquiera de estos tiene una capacidad que sobrepasa con mucho las necesidades medias para transmitir una señal. Si la capacidad de transmisión del enlace es mayor que las necesidades de transmisión de los dispositivos conectados a él, la capacidad sobrante se malgasta. Un sistema eficiente maximiza la utilización de todas las facilidades. Además, la cara tecnología utilizada a menudo se hace rentable sólo cuando se comparten los enlaces.

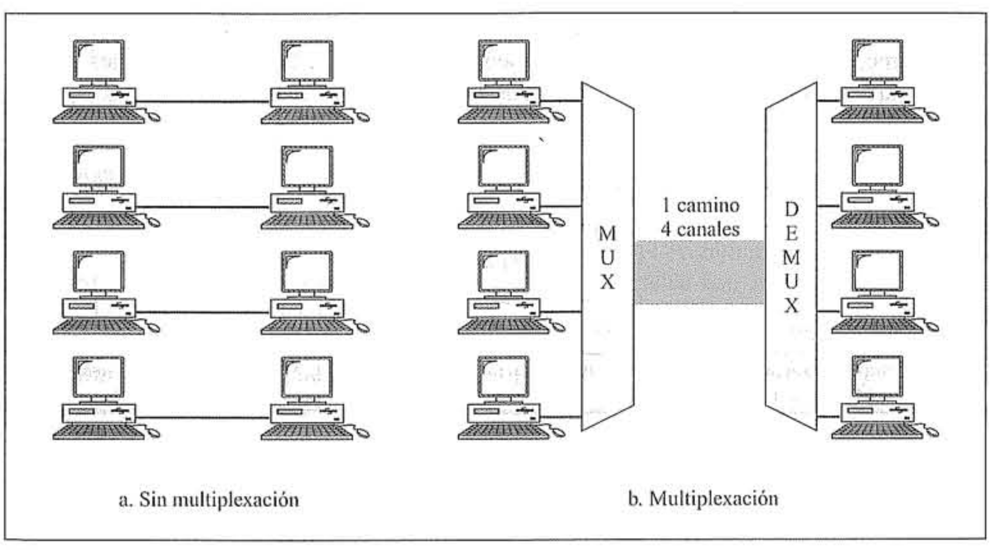


Figura 8.1. *Multiplexación frente a no multiplexación.*

La Figura 8.1 muestra dos posibles formas de enlazar cuatro pares de dispositivos. En la Figura 8.1a, cada par tiene su propio enlace. Si no se utiliza la capacidad completa de cada enlace, se está malgastando una porción de esta capacidad. En la Figura 8.1b, las transmisiones entre los pares están multiplexados; los mismos cuatro pares comparten la capacidad de un único enlace.

8.1. MUCHOS A UNO/UNO A MUCHOS

En un sistema multiplexado, *n* dispositivos comparten la capacidad de un enlace. La Figura 8.1b muestra el formato básico de un sistema multiplexado. Los cuatro dispositivos de la izquierda envían sus flujos de transmisión a un **multiplexor (MUX)**, que los combina en un único flujo (muchos a uno). El extremo receptor, el flujo se introduce en un **demultiplexor (DEMUX)**, que separa el flujo en sus transmisiones componentes (uno a muchos) y los dirige a sus correspondientes dispositivos receptores.

En la Figura 8.1b la palabra **camino** se refiere al enlace físico. La palabra **canal** se refiere a una porción de camino que lleva una transmisión entre un determinado par de dispositivos. Un camino puede tener muchos (*n*) canales.

Las señales se multiplexan usando tres técnicas básicas: multiplexación por división en frecuencia (FDM), multiplexación por división en el tiempo (TDM) y multiplexación por división de onda (WDM). TDM se subdivide a su vez en TDM síncrono (habitualmente denominado solamente TDM) y TDM asíncrono, también denominado TDM estático o concentrador (véase la Figura 8.2).

8.2. MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA (FDM)

La **multiplexación por división en frecuencia (FDM,** *Frequency Division Multiplexing*) es una técnica analógica que se puede aplicar cuando el **ancho de banda** de un enlace es mayor que los anchos de banda combinados de las señales a transmitir. En FDM las señales generadas por cada dispositivo emisor se modulan usando distintas frecuencias portadoras. A continuación, estas señales moduladas se combinan en una única señal compuesta que será transportada por el enlace. Las frecuencias portadoras están separadas por un ancho de banda suficiente como para acomodar la señal modulada. Estos rangos del ancho de banda son los canales a través de los que viajan las distintas señales. Los canales deben estar separados por tiras de anchos de banda sin usar (**bandas de guarda**) para prevenir que las señales se solapen. Además, las frecuencias portadoras no deben interferir con las frecuencias de datos originales. Un fallo en el cumplimiento de cualquiera de estas condiciones puede dar como resultado la no recuperabilidad de las señales originales.

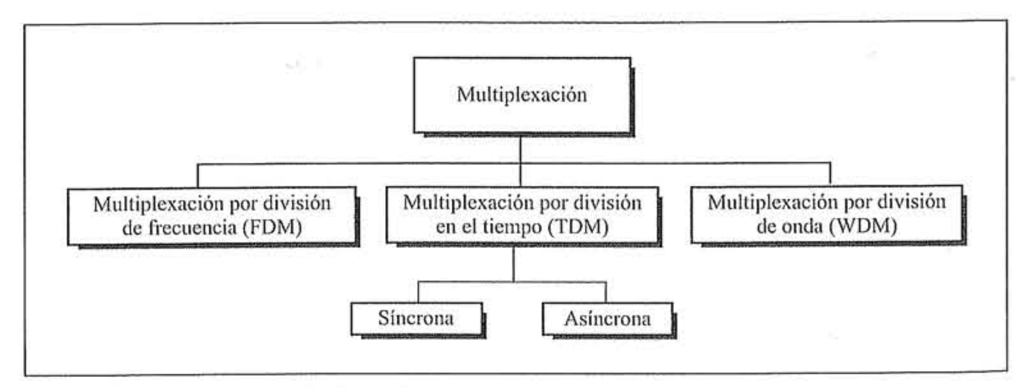


Figura 8.2. *Clases de multiplexación.*

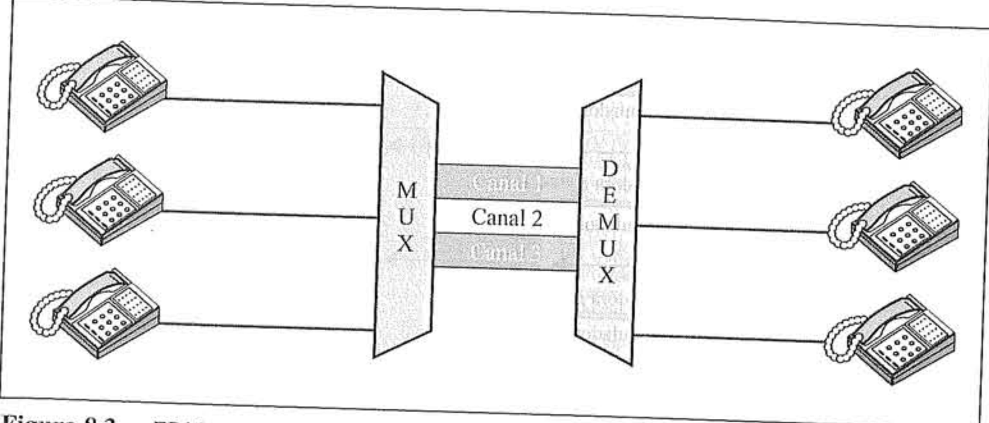


Figura 8.3. *FDM.*

La Figura 8.3 muestra una visión conceptual de FDM. En esta ilustración, el camino de transmisión se divide en tres partes, cada uno de ellos representando un canal que lleva una transmisión. Como analogía, imagine un punto donde se juntan tres calles estrechas para formar una autopista de tres carriles. Cada una de estas calles se corresponde a un carril de la autopista. Cada coche entrando en la autopista desde una de las calles sigue teniendo su propio carril y puede viajar sin interferir con los coches en los otros carriles.

Recuerde que aunque la Figura 8.3 muestra el camino como si tuviera una división espacial en canales separados, las divisiones reales de canales se consiguen mediante la frecuencia, no mediante la separación espacial.

El proceso FDM

La Figura 8.4 es una ilustración conceptual en el dominio del tiempo del proceso de multiplexación. La FDM es un proceso analógico y se muestra en la figura usando teléfonos como dispositivos de entrada y salida. Cada teléfono genera una señal con un rango de frecuencia similar. Dentro del multiplexor, estas señales similares se modulan sobre distintas frecuencias portadoras (f_1, f_2 y f_3). Las señales moduladas resultantes se combinan después en una única señal compuesta que se envía sobre un enlace que tiene ancho de banda suficiente para acomodarlas.

La Figura 8.5 es una ilustración en el dominio de la frecuencia del mismo concepto. (Observe que los ejes horizontales de la figura denotan frecuencia, no tiempo. Las tres frecuencias portadoras existen al mismo tiempo en el ancho de banda.) En FDM, las señales se modulan sobre frecuencias portadoras distintas (f_1, f_2 y f_3) usando modulación AM o FM. Como recordará del Capítulo 5, modular una señal sobre otra da como resultado un ancho de banda de al

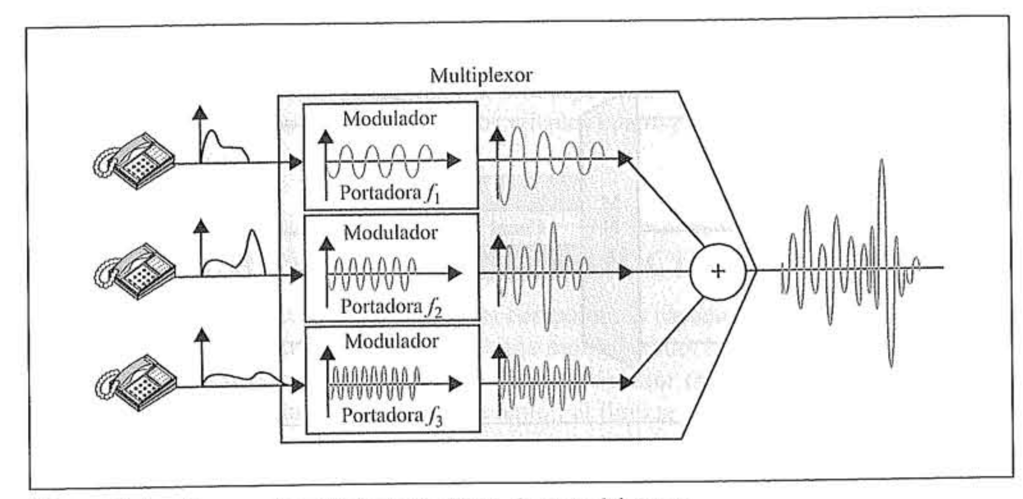


Figura 8.4. *Proceso de multiplexación FDM, dominio del tiempo.*

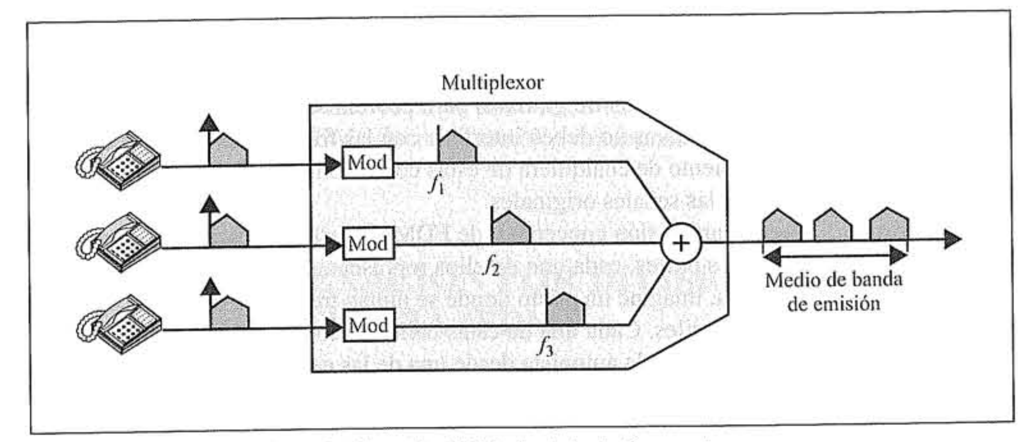


Figura 8.5. *Proceso de multiplexación FDM, dominio de frecuencia.*

menos dos veces la original. Para permitir un uso más eficiente del medio, el ancho de banda real se puede reducir suprimiendo la mitad de la banda, usando técnicas que están fuera del ámbito de este libro. En esta ilustración, el ancho de banda de la señal compuesta resultante es más de tres veces el ancho de banda de cada señal de entrada: tres veces el ancho de banda para acomodar los canales necesarios, más el ancho de banda extra para permitir las bandas de guarda necesarias.

Demultiplexación

El demultiplexor usa una serie de filtros para descomponer la señal multiplexada en las señales componentes que la constituyen. Las señales individuales se pasan después a un demodulador que las separa de sus portadoras y las pasa a los dispositivos receptores que las esperan. La Figura 8.6 es una ilustración en el dominio del tiempo de la multiplexación FDM, usando de nuevo tres teléfonos como dispositivos de comunicación. El mismo ejemplo en el dominio de frecuencia se puede ver en la Figura 8.7.

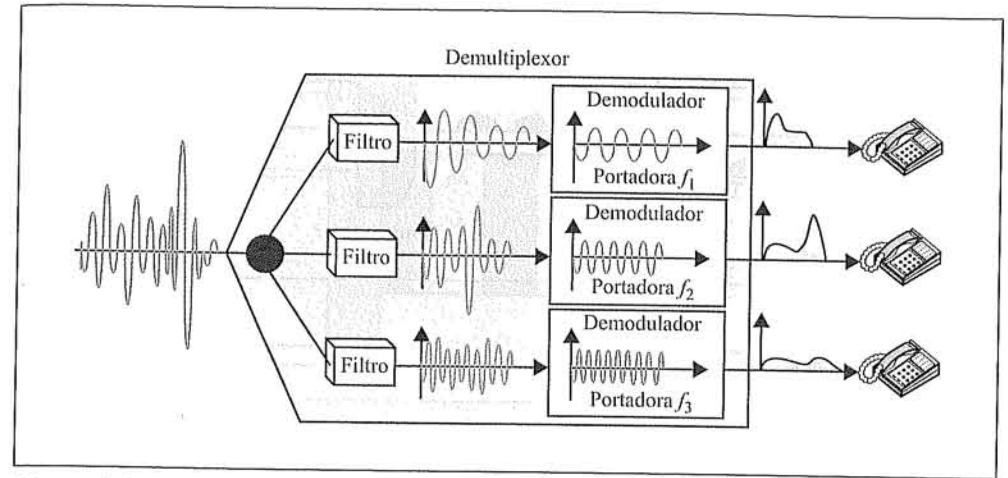


Figura 8.6. *Proceso de demultiplexación FDM, dominio del tiempo.*

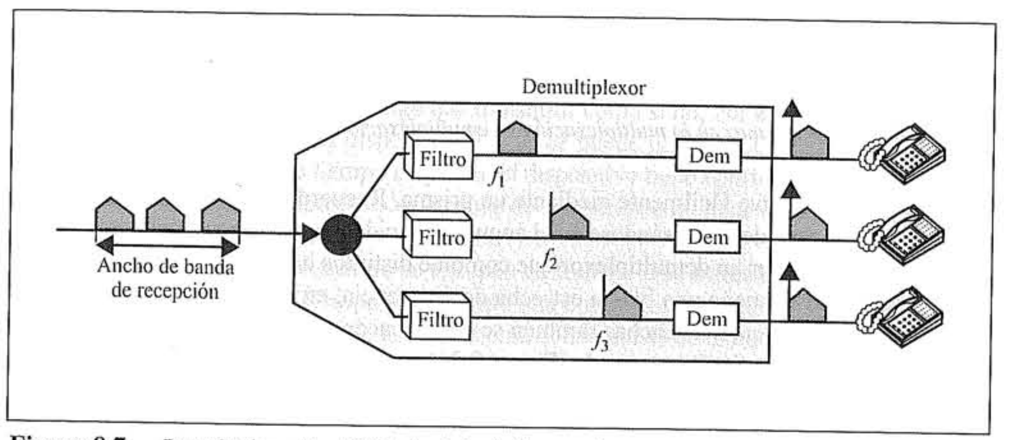


Figura 8.7. *Demultiplexión FDM, dominio de frecuencia.*

8.3. MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE ONDA (WDM)

La **multiplexación por división de onda (WDM,** *Wave Division Multiplexing*) es conceptualmente la misma que FDM, exceptuando que la multiplexación y la demultiplexación involucran señales luminosas transmitidas a través de canales de fibra óptica. La idea es la misma: se combinan distintas señales sobre frecuencias diferentes. Sin embargo, la diferencia es que las frecuencias son muy altas.

La Figura 8.8 da una visión conceptual de un multiplexor y demultiplexor WDM. Bandas de luz muy estrechas de distintas fuentes se combinan para conseguir una banda de luz más ancha. En el receptor, la señales son separadas por el demultiplexor.

Uno se puede preguntar cuál es el mecanismo del WDM. Aunque la tecnología es muy compleja, la idea es muy simple. Se quiere combinar múltiples haces de luz dentro de una única luz en el multiplexor y hacer la operación inversa en el demultiplexor. Combinar y dividir

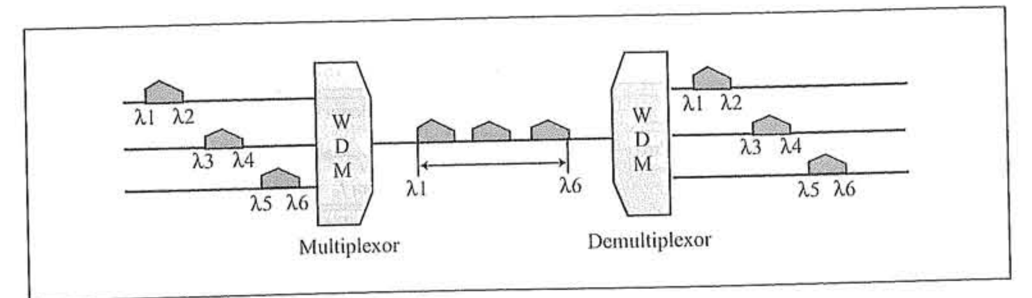


Figura 8.8. *WDM.*

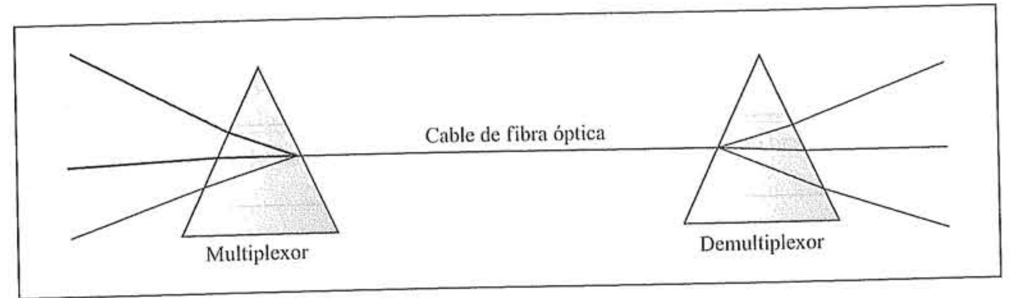


Figura 8.9. *Los prismas en la multiplexación y demultiplexación WDM.*

haces de luz se resuelve fácilmente mediante un prisma. Recuerde de la física básica que un prisma curva un rayo de luz basándose en el ángulo de incidencia y la frecuencia. Usando esta técnica, se puede hacer un demultiplexor que combine distintos haces de luz de entrada, cada uno de los cuales contiene una banda estrecha de frecuencia, en un único haz de salida con una banda de frecuencia más ancha. También se puede hacer en un demultiplexor para hacer la operación para revertir el proceso. La Figura 8.9 muestra el concepto.

8.4 MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DEL TIEMPO (TDM)

La **multiplexación por división del tiempo (TDM,** *Time Division Multiplexing*) es un proceso digital que se puede aplicar cuando la capacidad de la tasa de datos de la transmisión es mayor que la tasa de datos necesaria requerida por los dispositivos emisores y receptores. En este caso, múltiples transmisiones pueden ocupar un único enlace subdividiéndole y entrelazando las porciones.

La Figura 8.10 da una visión conceptual de la TDM. Observe que se usa el mismo enlace que en FDM; sin embargo, aquí el enlace se muestra seccionado por el tiempo en lugar de por la frecuencia.

En la figura TDM, las porciones de las señales 1, 2, 3 y 4 ocupan un enlace secuencialmente. Como analogía, imagine un telesilla que tiene varias calles. Cada calle tiene su propia línea y los esquiadores de cada línea hacen turnos para ocupar el telesilla. A medida que cada silla alcanza la cima de la montaña, el esquiador que va en ella se baja y esquía hacia debajo de la montaña donde vuelve a esperar otra vez en la cola.

La TDM se puede implementar de dos formas: TDM síncrona y TDM asíncrona.

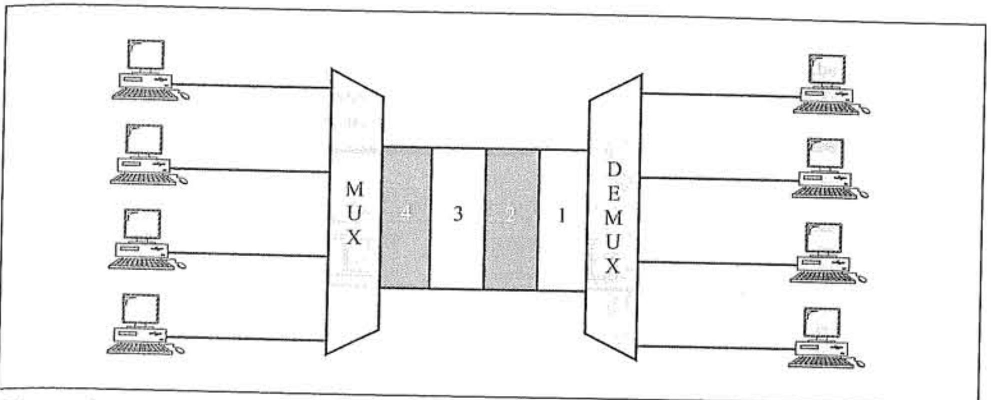


Figura 8.10. *TDM.*

TDM síncrona

En la **multiplexación síncrona por división del tiempo**, el término síncrona tiene un significado distinto del que se suele usar en otras áreas de la telecomunicación. Aquí síncrono significa que el multiplexor asigna siempre exactamente la misma ranura de tiempo a cada dispositivo, tanto si el dispositivo tiene algo que transmitir como si no. Por ejemplo, la ranura de tiempo A se asigna solamente al dispositivo A y no se puede usar para cualquier otro dispositivo. Cada vez que le toca su tiempo asignado, el dispositivo tiene oportunidad de enviar una porción de sus datos. Si el dispositivo es incapaz de transmitir o no tiene datos para enviar, su ranura de tiempo permanece vacía.

Tramas. Las ranuras de tiempo se agrupan en tramas. Una trama está formada por un ciclo completo de ranuras de tiempo, incluyendo una o más ranuras dedicadas a cada dispositivo emisor (véase la Figura 8.11). En un sistema con n líneas de entrada, cada trama tiene al menos n ranuras, con cada ranura asignada al transporte de datos de una línea de entrada específica. Si todos los dispositivos de entrada que comparten un enlace transmiten datos a la misma velocidad, cada dispositivo tiene una ranura de tiempo por trama. Sin embargo, es posible acomodar velocidades de datos distintas. Una transmisión con dos ranuras por trama llegará dos veces más deprisa que una que solo tiene una ranura por trama. Las ranuras de tiempo dedicadas a un dispositivo determinado ocupan la misma posición en cada trama y constituyen el canal del dispositivo. En la Figura 8.11, se muestran cinco líneas de entrada multiplexadas sobre un único camino usando TDM síncrona. En este ejemplo, todas las entradas tienen la misma tasa de datos, por lo que el número de ranuras de tiempo en cada trama es igual al número de líneas de entrada.

Entrelazado. La TDM síncrona se puede comparar con un dispositivo de rotación muy rápido. A medida que la puerta se abre frente a un dispositivo, el dispositivo tiene la oportunidad de enviar una cantidad específica de datos (x bits) por el enlace. La puerta se mueve de dispositivo en dispositivo con una velocidad constante y en orden fijo. Este proceso se denomina **entrelazado.**

El entrelazado se puede hacer por bit, byte o por cualquier otra unidad de datos. En otras palabras, el multiplexor puede tomar un byte de cada dispositivo, luego otro byte de otro dispositivo, etc. En un sistema dado, las unidades de entrelazado se dan siempre del mismo tamaño.

La Figura 8.12 muestra el entrelazado y la construcción de una trama. En el ejemplo, se entrelazan las distintas transmisiones en base a caracteres (igual a un byte cada uno), pero el

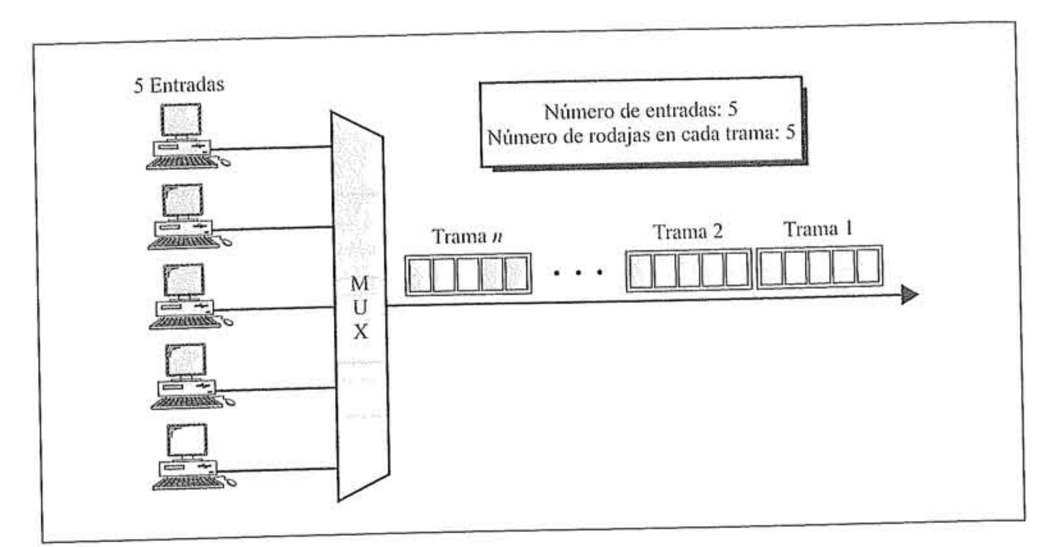


Figura 8.11. *TDM síncrona.*

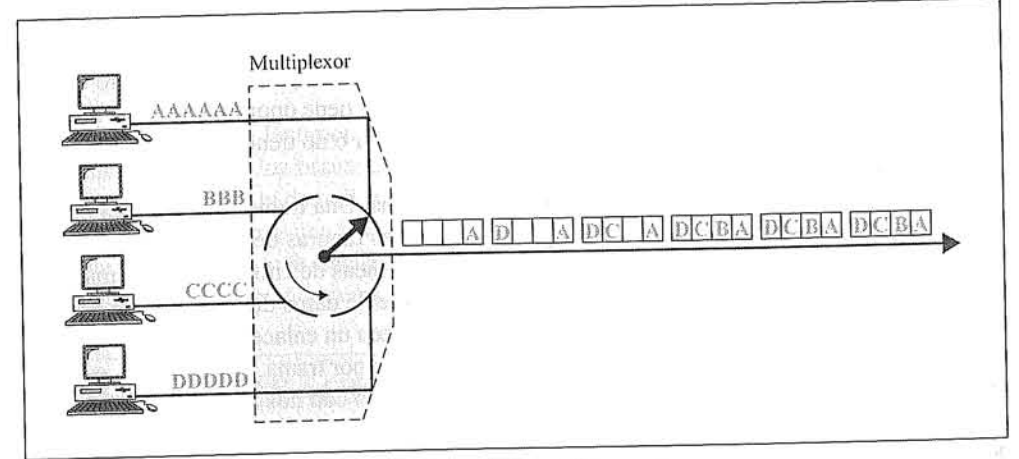


Figura 8.12. *TDM síncrona, proceso de multiplexación.*

concepto es el mismo para las unidades de datos de cualquier longitud. Como se puede ver, cada dispositivo está enviando un mensaje distinto. El multiplexor entrelaza los distintos mensajes y los compone en tramas antes de ponerlos en el enlace.

En el receptor, el demultiplexor descompone cada trama extrayendo cada carácter por turno. A medida que se extrae un carácter de la trama, se pasa al dispositivo receptor adecuado (véase la Figura 8.13).

Las Figuras 8.12 y 8.13 también muestran las principales debilidades de la TDM síncrona. Mediante la asignación de una ranura de tiempo para una línea específica de entrada, se termina con ranuras de tiempo vacías cada vez que las líneas están inactivas. En la Figura 8.12, solamente las tres primeras tramas están llenas. Las últimas tres tramas tienen seis ranuras vacías en conjunto. Tener 6 ranuras vacías de 24 significa malgastar la cuarta parte de la capacidad de enlace.

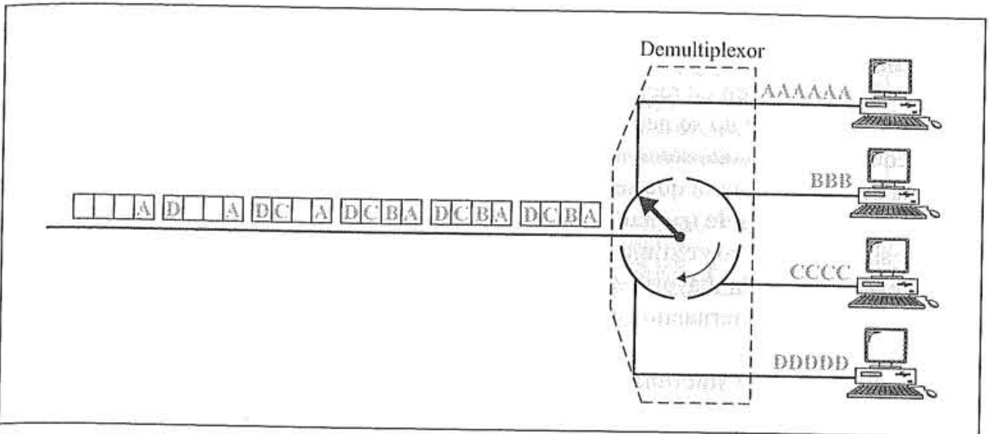


Figura 8.13. *TDM síncrona, proceso de demultiplexación.*

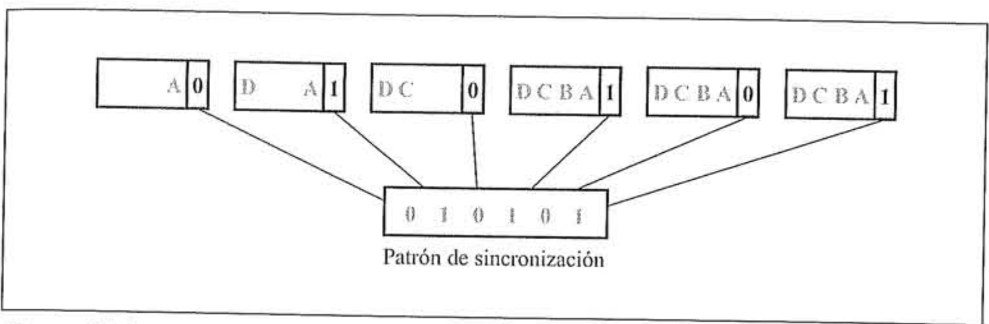


Figura 8.14. *Bits de tramado.*

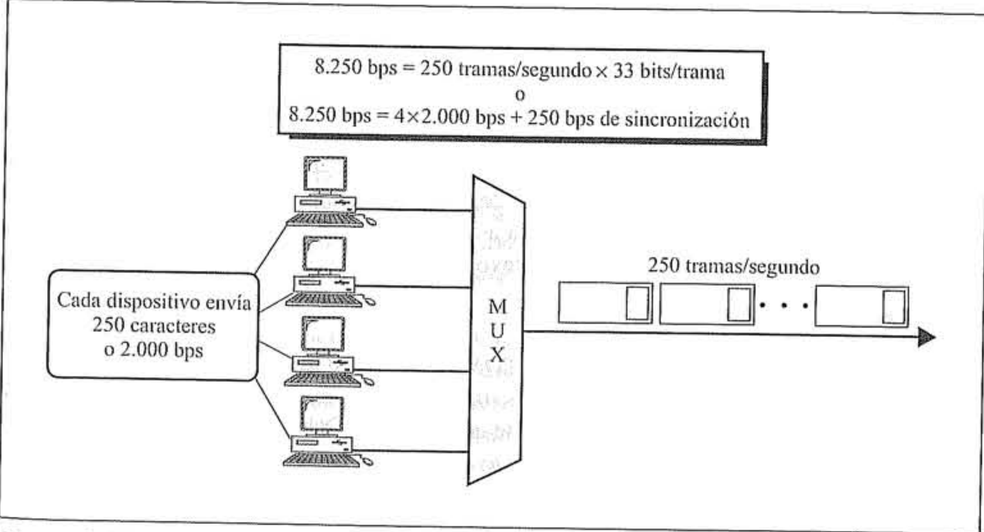


Figura 8.15. *Cálculo de la tasa de datos para las tramas.*

Bits de tramado. Debido a que el orden de la ranura de tiempo en la TDM síncrona no cambia de trama a trama, es necesario incluir muy poca información de sobrecarga en cada trama. El orden de recepción lo elige el demultiplexor, dónde dirigir cada ranura de tiempo, por lo que no se necesita direccionamiento. Sin embargo, hay varios factores que pueden causar inconsistencias temporales. Por esta razón, es necesario utilizar uno o más bits de sincronización que se añaden habitualmente al principio de cada trama. Estos bits, denominados **bits de tramado**, siguen un patrón, trama a trama, que permite al demultiplexor sincronizarse con el flujo de entrada de forma que pueda separar la ranura de tiempo con exactitud. En la mayoría de los casos, esta información de sincronización consiste en un bit por trama, alternando entre 0 y 1 (010101010101O), como se muestra en la Figura 8.14.

Ejemplo de TDM síncrona. Imagine que hay cuatro fuentes de entrada en un enlace TDM síncrono, con las transmisiones entrelazadas a nivel de carácter. Si cada fuente genera 250 caracteres por segundo y cada trama transporta un carácter por fuente, el enlace de transmisión debe ser capaz de transportar 250 tramas por segundo (véase la Figura 8.15).

Si se asume que cada carácter está formado por 8 bits, entonces cada trama tiene 33 bits: 32 bits para los cuatro caracteres más un bit de tramado. Observando las relaciones entre los bits, se puede ver que cada dispositivo está generando 2.000 bps (250 caracteres con 8 bits por carácter), pero que la línea está transportando 8.250 bps (250 tramas con 33 bits por trama): 8.000 bits de datos y 250 bits de sobrecarga.

Relleno de bits. Como se ha visto anteriormente, es posible conectar dispositivos con distintas velocidades de datos a un enlace TDM síncrono. Por ejemplo, el dispositivo A usa una ranura de tiempo, mientras que el dispositivo B, que es más rápido, usa dos. El número de ranuras en una trama y las líneas de entrada a los que están asignadas permanecen fijas dentro de un sistema dado, pero en los dispositivos con distintas tasas de datos pueden controlar un número distinto de ranuras. Recuerde: la longitud de la ranura de tiempo es fija. Por tanto, para que esta técnica funcione, las tasas de datos distintas deben ser múltiplos enteros entre sí. Por ejemplo, se puede acomodar un dispositivo que es cinco veces más rápido que otros, dándole cinco ranuras por cada una que se dé a los otros. Sin embargo, no se pueden acomodar dispositivos que son cinco veces y media más rápidos por este método, debido a que no se puede introducir media ranura en una trama.

Cuando las velocidades no son múltiplos enteros entre sí, se puede hacer que se comporten como si lo fueran, usando una técnica llamada **relleno de bits.** En el relleno de bits, el multiplexor añade bits extra al flujo de un dispositivo origen para forzar que las relaciones de las velocidades entre los distintos dispositivos sean múltiplos enteros entre sí. Por ejemplo, si tenemos un dispositivo con una tasa de bits de 2,75 veces la de otro dispositivo, se pueden añadir suficientes bits para aumentar su tasa a tres veces las de los otros. Los bits extra son descartados posteriormente por el demultiplexor.

TDM asíncrona

Como se ha visto en la sección anterior, la TDM síncrona no garantiza que se pueda usar la capacidad completa del enlace. De hecho, es más probable que solamente se pueda usar una porción de las ranuras de tiempo en un instante determinado. Debido a que las ranuras de tiempo están preasignadas y son fijas, cada vez que un dispositivo conectado no está transmitiendo su ranura de tiempo correspondiente está vacía y esa capacidad de enlace está siendo malgastada. Por ejemplo, imagine que se ha multiplexado la salida de 20 computadoras idénticas sobre una línea. Usando TDM síncrona, la velocidad de la línea debe ser por lo menos 20 veces

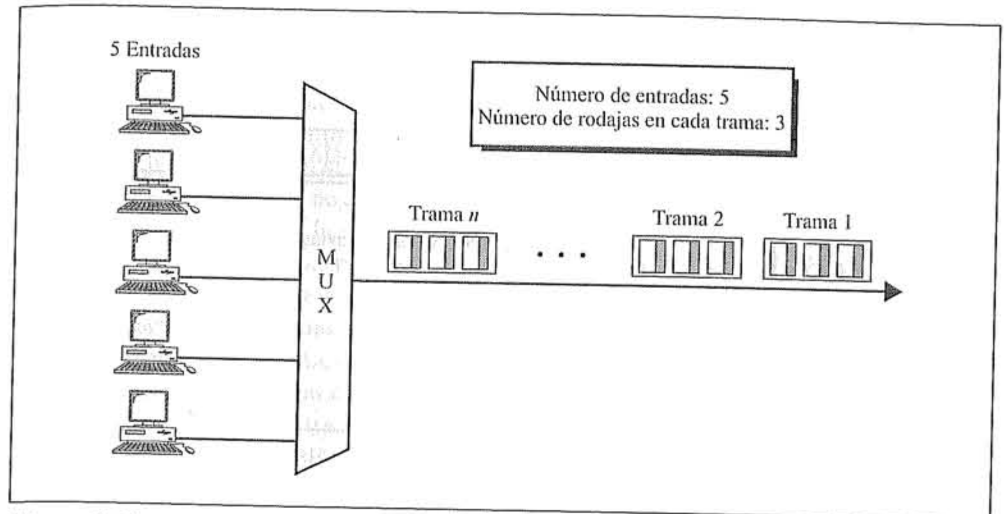


Figura 8.16. *TDM asíncrona.*

la velocidad de cada línea de entrada. Pero ¿qué ocurre si solamente hay 10 computadoras que se usan al mismo tiempo? La mitad de la capacidad de la línea se malgasta.

La **multiplexación asíncrona por división del tiempo**, o **multiplexación estática por división en el tiempo,** se ha diseñado para evitar este tipo de gasto. Como ocurre con el término síncrono, el término asíncrono significa algo distinto en la multiplexación de lo que significa en otras áreas de comunicación de datos. Aquí significa flexible o no fijo.

Al igual que la TDM síncrona, la TDM asíncrona permite multiplexar un cierto número de líneas de entrada de baja velocidad sobre una única línea de alta velocidad. Sin embargo, a diferencia de la TDM síncrona, en la TDM asíncrona la velocidad total de las líneas de entrada puede ser mayor que la capacidad de la pista. En un sistema síncrono, si tenemos n líneas de entrada, la trama contiene un número fijo de al menos n ranuras de tiempo. En un sistema asíncrono, si hay n líneas de entrada, la trama no contiene más de n ranuras, con m menor que n (véase la Figura 8.16). De esta forma, la TDM asíncrona soporta el mismo número de líneas de entrada que la TDM síncrona con una capacidad de enlace más pequeña. O, dado un mismo enlace, la TDM asíncrona puede soportar más dispositivos que la TDM síncrona.

El número de ranuras de tiempo en una trama TDM asíncrona (m) se basa en un análisis estadístico del número de líneas de entrada que es probable que transmitan en un momento determinado de tiempo. En lugar de ser preasignada, cada ranura está disponible para cualquier dispositivo de entrada conectado a las líneas que tengan datos que enviar. El multiplexor mira las líneas de entrada, acepta porciones de datos hasta que una trama está llena y después envía la trama a través del enlace. Si no hay datos suficientes para rellenar todas las ranuras de una trama, la trama se transmite rellena parcialmente; es decir, la capacidad total del enlace puede no estar usada el ciento por ciento del tiempo. Pero la habilidad de asignar ranuras de tiempo dinámicamente, asociado con la relación menor de ranuras de tiempo a las líneas de entrada, reduce grandemente la probabilidad y el grado de gasto.

La Figura 8.17 muestra un sistema en el cual cinco computadoras comparten un enlace de datos usando TDM asíncrona. En este ejemplo, el tamaño de la trama es tres ranuras. La figura muestra cómo gestiona el multiplexor tres niveles de tráfico. En el primer caso, solamente tres de las cinco computadoras tienen datos para enviar (el escenario medio de este sis-

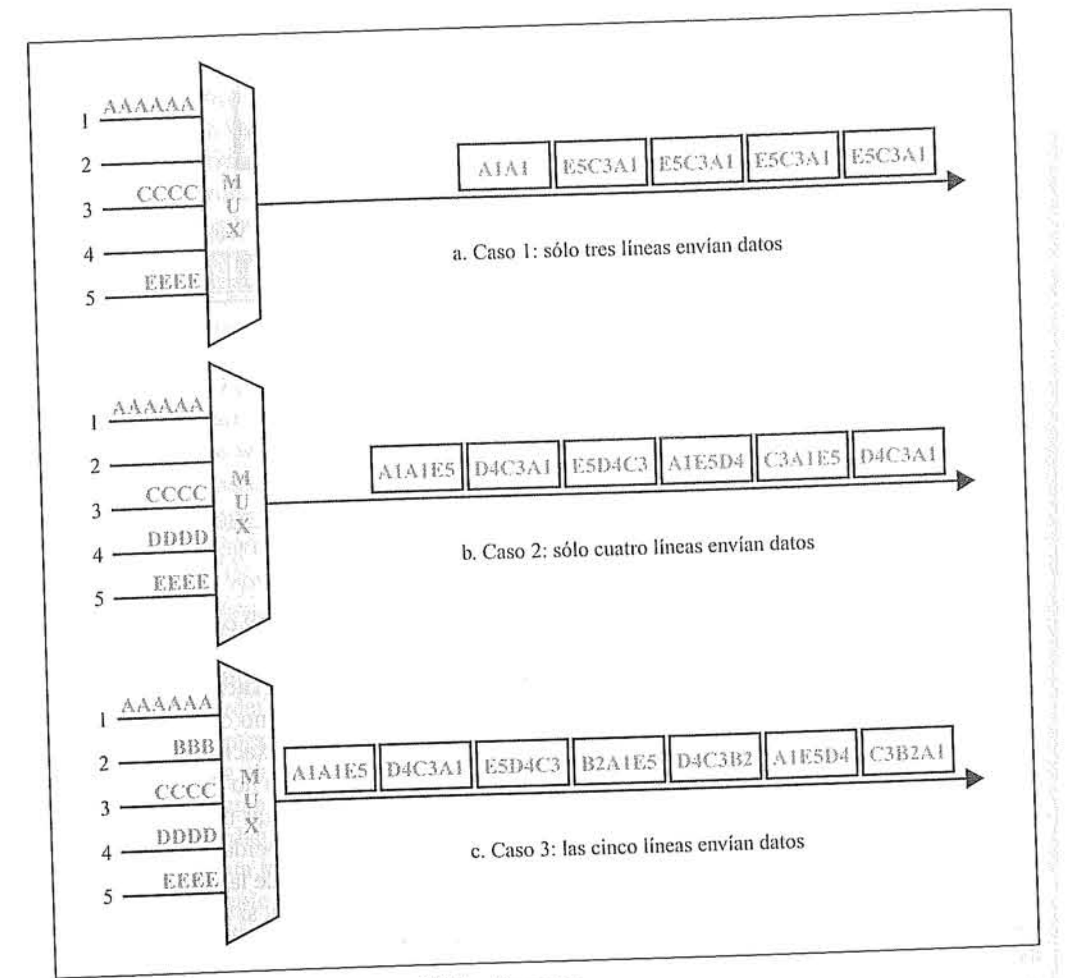


Figura 8.17. *Ejemplos de tramas TDM asíncronas.*

tema, como se indica por el hecho de que se haya elegido un tamaño de trama de tres ranuras de tiempo). En el segundo caso, hay cuatro líneas enviando datos, una más que el número de ranuras por trama. En el tercer caso (más raro estadísticamente), todas las líneas están enviando datos. En este caso, el multiplexor comprueba los dispositivos en orden, del 1 al 5, rellenando las ranuras de tiempo a medida que encuentra los datos a enviar.

En el primer caso, las tres líneas de entrada activas se corresponden con las tres ranuras de cada trama. Para las primeras cuatro tramas, la entrada se distribuye simétricamente entre todos los dispositivos de comunicación. Sin embargo, para la quinta trama, los dispositivos 3 y 5 han completado sus transmisiones, pero el dispositivo 1 todavía tiene dos caracteres a enviar. El multiplexor recoge la A del dispositivo 1, mira la línea sin encontrar otra transmisión y vuelve al dispositivo 1 para recoger la última A. Puesto que no hay datos para rellenar la ranura final, el multiplexor transmite la quinta trama con dos ranuras rellenas solamente. En un sistema TDM síncrono, habrían sido necesarias seis tramas de cinco ranuras de tiempo cada una para transmitir todos los datos, un total de 30 ranuras de tiempo. Pero solamente se habrían rellenado catorce ranuras de tiempo, dejando sin usar la línea durante más de la mitad

del tiempo. Con el sistema asíncrono que se ha mostrado, solamente se ha transmitido una trama parcialmente vacía. Durante el resto del tiempo de transmisión toda la capacidad de la línea está activa.

En el segundo caso, hay una línea de entrada activa más que ranuras en cada trama. Esta vez, a medida que el multiplexor comprueba las líneas de 1 a 5, rellena una trama antes de que todas las líneas hayan sido comprobadas. Por tanto, la primera trama tiene datos de los dispositivos 1, 3 y 4, pero no del 5. El multiplexor continúa su barrido donde lo dejó, poniendo la primera porción de la transmisión del dispositivo 5 en la primera ranura de la trama siguiente, a continuación se mueve hacia arriba de la línea y pone la siguiente porción de los datos del dispositivo 1 en la segunda ranura, etc. Como se puede ver, cuando el número de emisores activos no es igual al número de ranuras en una trama, las ranuras de tiempo no se rellenan simétricamente. En este ejemplo, el dispositivo 1 ocupa la primera ranura de la primera trama, a continuación la segunda ranura de la primera trama, etc.

En el tercer caso, las tramas se rellenan como en el ejemplo anterior, pero aquí hay cinco líneas de entrada activas. En este ejemplo, el dispositivo 1 ocupa la primera ranura de la primera trama, la tercera ranura de la segunda trama y ninguna ranura en la tercera trama.

En los casos 2 y 3, si la velocidad de la línea es igual a tres de las líneas de entrada, entonces los datos a transmitir llegarán más rápido de lo que el multiplexor puede ponerlos en el enlace. En este caso, es necesario tener un almacén de memoria para almacenar los datos hasta que el multiplexor esté listo para transmitirlos.

Direccionamiento y sobrecarga. Los casos 2 y 3 del ejemplo anterior ilustran una de las mayores debilidades de la TDM asíncrona: ¿cómo sabe el demultiplexor qué ranura pertenece a cada línea de salida? En la TDM síncrona, el dispositivo al que pertenecen los datos en una ranura de tiempo queda indicado directamente por la posición de la ranura de tiempo en la entrada. Pero en la TDM asíncrona, los datos de un dispositivo dado podrían estar en la primera ranura de una trama y en la tercera de la siguiente. En ausencia de relaciones posicionales fijas, cada ranura de tiempo debe llevar una dirección indicando al demultiplexor dónde enviar los datos. Esta dirección, válida solamente para uso local, es incluida por el multiplexor y descartada por el demultiplexor una vez que la ha leído. En la Figura 8.17, la dirección se especifica mediante un dígito.

Añadir bits de dirección a cada ranura de tiempo incrementa la sobrecarga de un sistema asíncrono y limita de alguna forma su potencial eficiencia. Para limitar su impacto, las direcciones suelen estar formadas por un número pequeño de bits y se pueden hacer incluso más cortas añadiendo solamente la dirección completa a la primera porción de una transmisión, con versiones abreviadas para identificar porciones subsiguientes.

La necesidad de direccionamiento hace que la TDM asíncrona sea ineficiente para entrelazado de bit o byte. Imagine entrelazado de bit, donde cada bit puede llevar una dirección: un bit de datos más, digamos, tres bits de dirección. De repente, es necesario usar cuatro bits para transportar un bit de datos. Incluso si el enlace se utiliza en su totalidad, solamente se estará usando un cuarto de la capacidad de la línea para transportar datos; el resto es **sobrecarga.** Por esta razón, la TDM asíncrona es eficiente únicamente cuando el tamaño de las ranuras de tiempo se mantiene relativamente grande.

Ranuras de tiempo de longitud variable. La TDM asíncrona puede acomodar tráfico en tasas de datos variables cambiando la longitud de las ranuras de tiempo. Las estaciones que transmiten con una tasa de datos más rápida pueden conseguir una ranura más larga. Gestionar campos de longitud variable hace necesario añadir bits de control al principio de cada ranura de tiempo para indicar la longitud de la porción de datos entrante. Este bit extra tam-

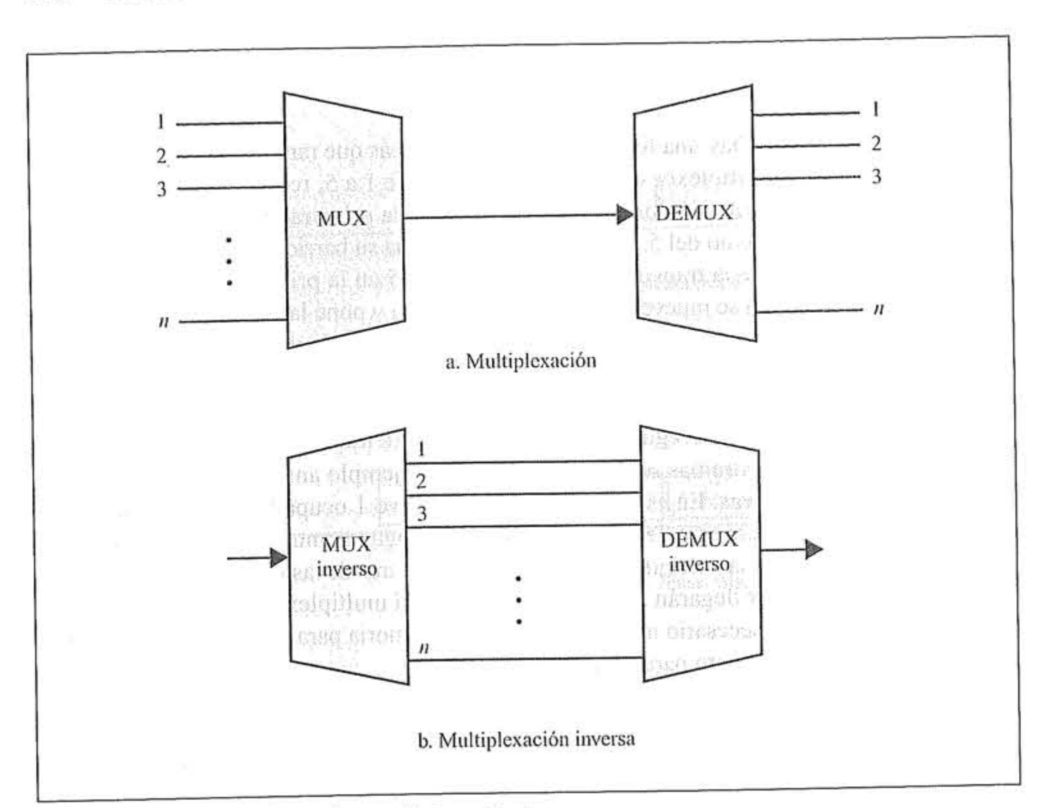


Figura 8.18. *Multiplexación y multiplexación inversa.*

bién incrementa la sobrecarga del sistema y, de nuevo, son eficientes únicamente con ranuras de tiempo grandes.

Multiplexación inversa

Como su propio nombre indica, la **multiplexación inversa** es lo opuesto de la multiplexación. La multiplexación inversa toma el flujo de datos de una línea de alta velocidad y los separa en porciones que pueden ser enviadas simultáneamente a través de varias líneas de velocidad más baja, sin que haya una pérdida de la tasa de datos colectiva (véase la Figura 8.18).

¿Por qué es necesaria la multiplexación inversa? Piense en una organización que quiere enviar datos, voz y vídeo, cada uno de los cuales necesita una tasa de datos distinta. Para enviar voz puede necesitar un enlace de 64 Kbps. Para enviar datos puede necesitar un enlace de 128 Kbps. Y para enviar vídeo, puede necesitar un enlace de 1,544 Mbps. Para satisfacer todas estas necesidades, la organización tiene dos opciones. Puede activar un canal de 1,544 Mbps de un proveedor (la compañía telefónica) y usar la capacidad total solo a veces, lo cual no constituye un uso eficiente de la facilidad. O puede alquilar varios canales separados con tasas de datos más bajas. Usando un acuerdo denominado **ancho de banda bajo demanda,** la organización puede usar cualquiera de estos canales siempre y cuando lo necesite. Las transmisiones de voz se pueden enviar intactas sobre cualquiera de los canales. Las señales de datos o vídeo pueden ser divididas y enviadas sobre dos o más líneas. En otras palabras, las señales de datos y vídeos se pueden multiplexar inversamente sobre múltiples líneas.

8.5. APLICACIÓN DE LA MULTIPLEXACIÓN: EL SISTEMA TELEFÓNICO

La multiplexación ha sido una herramienta esencial de la industria telefónica durante mucho tiempo. Estudiar los fundamentos de las compañías telefónicas nos puede ayudar a comprender la aplicación de la FDM y la TDM dentro de este campo. Por supuesto, distintas partes del mundo usan sistemas distintos. Nosotros nos vamos a concentrar solamente en el sistema que se usa en Norteamérica.

El sistema telefónico de Norteamérica incluye muchas compañías de telecomunicaciones, denominadas *common carriers*, que ofrecen servicios públicos locales y de larga distancia a los abonados. Estos proveedores incluyen compañías locales, tales como la Pacific Bell y proveedores de larga distancia tales como AT&T, MCI y Sprint.

A efectos de esta discusión, pensaremos en los distintos portadores como en una única entidad denominada red telefónica y en la línea que conecta un abonado a esta red como la *línea de servicio* (véase la Figura 8.19).

Servicios portadores comunes y jerarquías

Las compañías telefónicas comenzaron proporcionando a sus abonados **servicios analógicos** que usaban redes analógicas. Actualmente, los proveedores de Norteamérica están

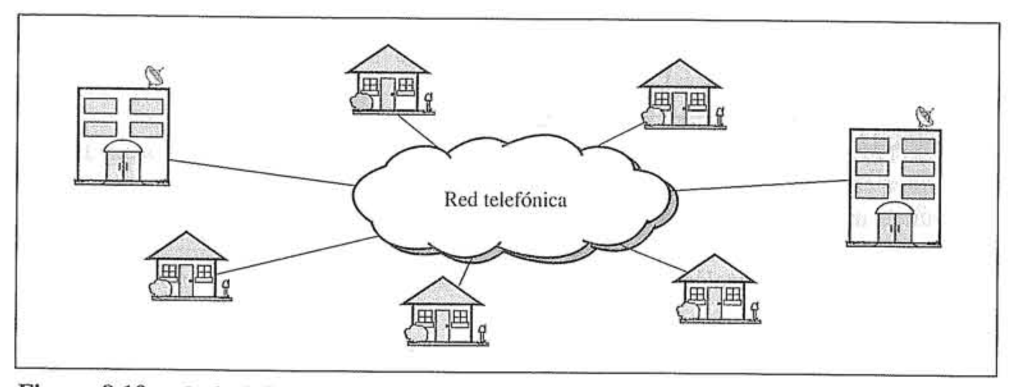


Figura 8.19. *Red telefónica.*

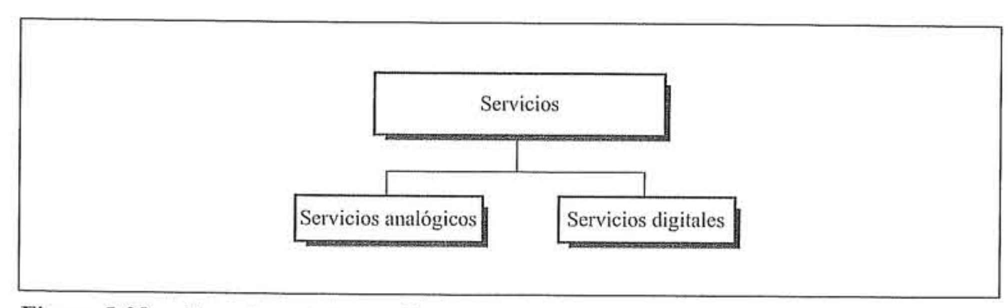


Figura 8.20. *Tipos de servicios analógicos.*

en el proceso de cambiar de redes analógicas a digitales incluso las líneas de servicio. Se anticipa que pronto toda la red será digital. Sin embargo, por ahora, están disponibles ambos tipos de servicio y, por tanto, se están usando tanto la FDM como la TDM (véase la Figura 8.20).

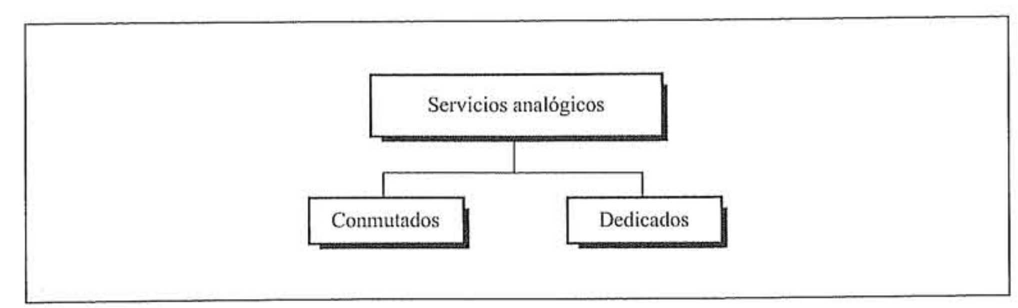


Figura 8.21. *Tipos de servicios analógicos.*

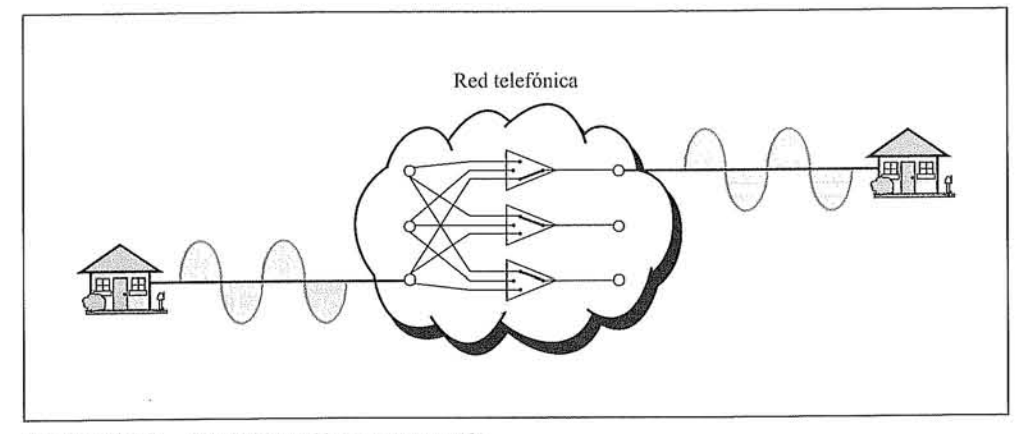


Figura 8.22. *Servicio analógico conmutado.*

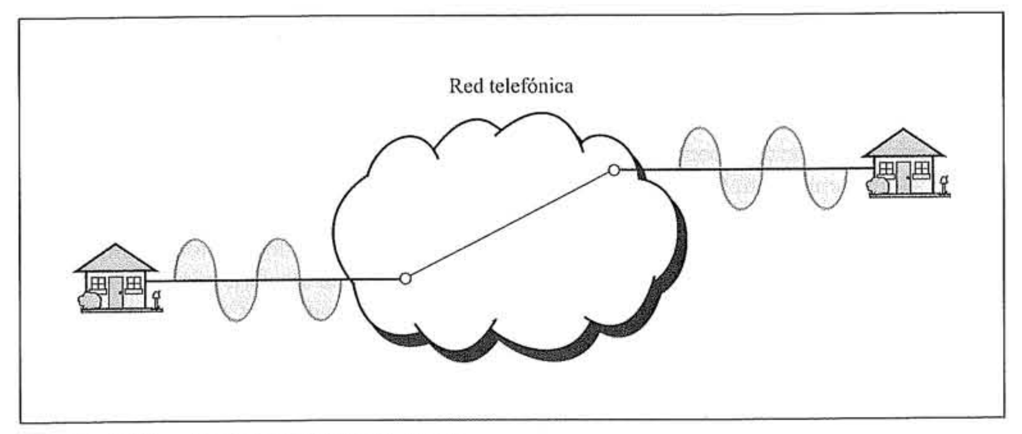


Figura 8.23. *Servicio analógico dedicado.*

Servicios analógicos

De entre los muchos servicios analógicos disponibles para los abonados, dos son particularmente importantes para nuestra discusión: los servicios conmutados y los servicios dedicados (véase la Figura 8.21)

Servicio analógico conmutado

El **servicio analógico conmutado** es el típico servicio de marcado que se encuentra frecuentemente cuando se usa un teléfono de casa. Usa un cable de par trenzado de dos hilos (o, para usos especializados, cuatro hilos) para conectar el terminal del abonado a la red a través de un intercambiador. Esta conexión es lo que se denomina el **bucle local**. La red a la cual se conecta se denomina a veces red telefónica conmutada pública (RTCP).

La señal del bucle local es analógica, y el ancho de banda está habitualmente ente los 0 y los 4.000 Hz. (Para obtener más información sobre el ancho de banda telefónico, vuelva al Capítulo 7.)

Con las líneas conmutadas, cuando el abonado marca un número, la llamada se envía a un conmutador, o a una serie de conmutadores, en el intercambiador. En ese momento se activan los conmutadores apropiados para enlazar la línea del abonado con la de la persona a la que está llamando. El conmutador conecta ambas líneas durante la duración de la llamada (véase la Figura 8.22).

Servicio analógico dedicado

Un **servicio analógico dedicado** ofrece a los clientes la oportunidad de alquilar una línea, llamada a veces línea dedicada, que está permanentemente conectada con otro cliente. Aunque la conexión sigue pasando a través de los conmutadores de la red telefónica, los abonados piensan que tienen una única línea porque el conmutador está siempre cerrado; no hace falta marcar (véase la Figura 8.23).

Líneas condicionadas. Las compañías telefónicas también ofrecen un servicio denominado acondicionamiento. Acondicionamiento significa mejorar la calidad de la línea reduciendo la atenuación, la distorsión de la señal o la distorsión de retraso. Las líneas acondicionadas son analógicas, pero su calidad hace que se puedan usar para la comunicación de datos digitales si están conectadas a módems.

La jerarquía analógica

Para maximizar la eficiencia de su infraestructura, las compañías telefónicas tradicionalmente han multiplexado las señales de líneas con ancho de banda pequeño sobre líneas con más ancho de banda. De esta forma, se pueden combinar muchas líneas conmutadas o dedicadas en menos canales más grandes. En el caso de las líneas analógicas se usa FDM.

Uno de estos sistemas jerárquicos, usado por la AT&T, está formado por grupos, supergrupos, grupos maestros y grupos jumbo (véase la Figura 8.24).

En esta **jerarquía analógica**, se multiplexan 12 canales de voz en una línea de mayor ancho de banda para crear un **grupo.** (Para conservar el ancho de banda, la AT&T usa técnicas de modulación que suprimen la portadora y las bandas laterales inferiores de cada señal y las recupera después de multiplexarlas.) Un grupo tiene un ancho de banda de 48 KHz y soporta 12 canales de voz.

En el nivel siguiente, se pueden multiplexar hasta cinco grupos para crear una señal compuesta denominada un **supergrupo.** Un supergrupo tiene un ancho de banda de 240 KHz y

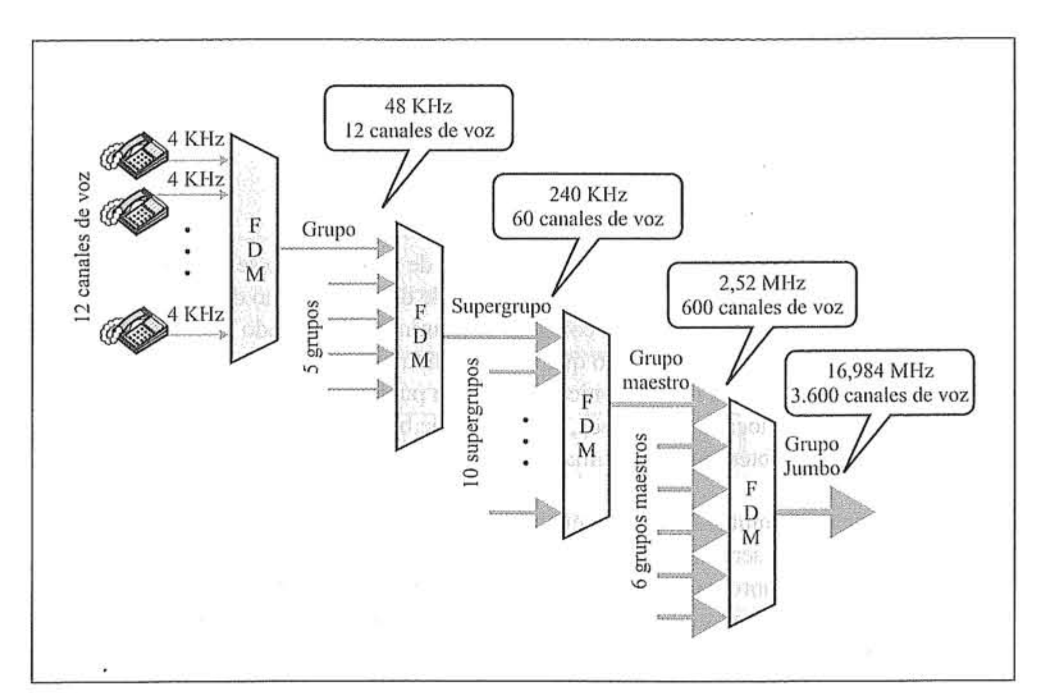


Figura 8.24. *Jerarquía analógica.*

soporta hasta 60 canales de voz. Los supergrupos pueden estar formados por cinco grupos o por 60 canales de voz independientes.

En el siguiente nivel, se multiplexan diez supergrupos para crear un **grupo maestro.** Un grupo maestro debe tener 2,40 MHz de ancho de banda, pero la necesidad de bandas de guarda entre los canales incrementa el ancho de banda necesario hasta 2,52 MHz. Los grupos maestros soportan hasta 600 canales de voz.

Finalmente, seis grupos maestros se pueden combinar en un **grupo jumbo.** Un grupo jumbo debe tener hasta 15,12 MHz ($6 \times 2{,}52$ MHz) pero este ancho de banda se aumenta hasta 16,984 MHz para permitir que haya bandas de guarda entre los grupos maestros.

Hay muchas variaciones de esta jerarquía en la industria de las telecomunicaciones (la ITU-T ha aprobado un sistema distinto para su uso en Europa). Sin embargo, debido a que esta jerarquía va a ser reemplazada por los servicios digitales en un futuro cercano, se limita la discusión al sistema anterior.

Servicios digitales

Recientemente, las compañías telefónicas han empezado a ofrecer servicios digitales a sus abonados. Una ventaja es que los servicios digitales son menos sensibles al ruido y a otras formas de interferencias que los servicios analógicos. Una línea telefónica actúa como una antena y recoge el ruido tanto durante la transmisión digital como analógica. En las transmisiones analógicas, tanto la señal como el ruido son analógicas y son difíciles de separar. Por el contrario, en la transmisión digital, la señal es digital pero la interferencia sigue siendo analógica. En este caso, la señal puede distinguirse y separarse fácilmente. Otra ventaja de la transmisión digital es su bajo costo. Debido a que únicamente tiene que diferenciar entre dos

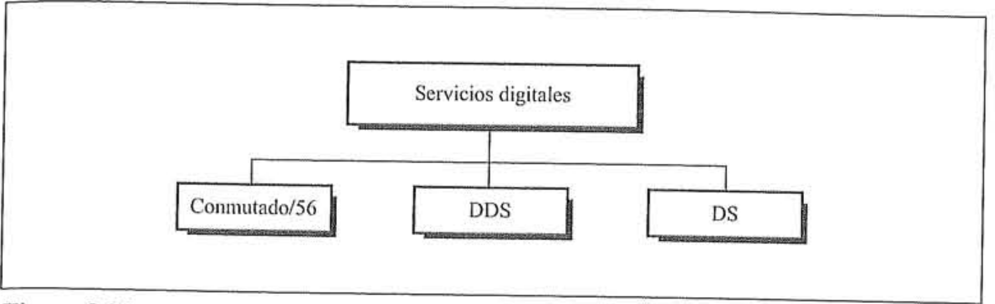


Figura 8.25. *Tipos de servicios digitales.*

o tres niveles de voltaje en lugar de un rango continuo de valores, los equipos de transmisión digital usan electrónica más barata de la que usan los equipos analógicos correspondientes.

Vamos a examinar tres tipos distintos de servicios digitales: conmutados/56, DDS y DS (véase la Figura 8.25).

Servicio conmutado/56

El **conmutado/56** es la versión digital de una línea conmutada analógica. Es un servicio digital conmutado que permite tasas de datos de hasta 56 Kbps. Para comunicarse a través del servicio, ambos interlocutores deben estar abonados. Un cliente con un servicio telefónico normal no se puede conectar a un teléfono o una computadora con el sistema conmutado/56 incluso si usa un módem. Por tanto, los servicios analógicos y digitales representan dos dominios completamente distintos para las compañías telefónicas.

Debido a que la línea en el servicio conmutado/56 ya es digital, los abonados no necesitan módems para transmitir datos digitales. Sin embargo, necesitan otro tipo de dispositivo denominado **unidad de servicio digital (DSU,** *Data Service Unit*). Este dispositivo cambia la tasa de los datos digitales creados por el dispositivo del abonado a 56 Kbps y los codifica en el formato usado por el proveedor del servicio (véase la Figura 8.26). La DSU se incluye a menudo en el proceso de marcado (DSU con dispositivo de marcado).

Irónicamente, una DSU es más cara que un módem. En ese caso, ¿por qué debería un abonado elegir pagar por el servicio conmutado/56 y una DSU? Porque la línea digital tiene más velocidad, mejor calidad y menos susceptibilidad al ruido que una línea analógica equivalente.

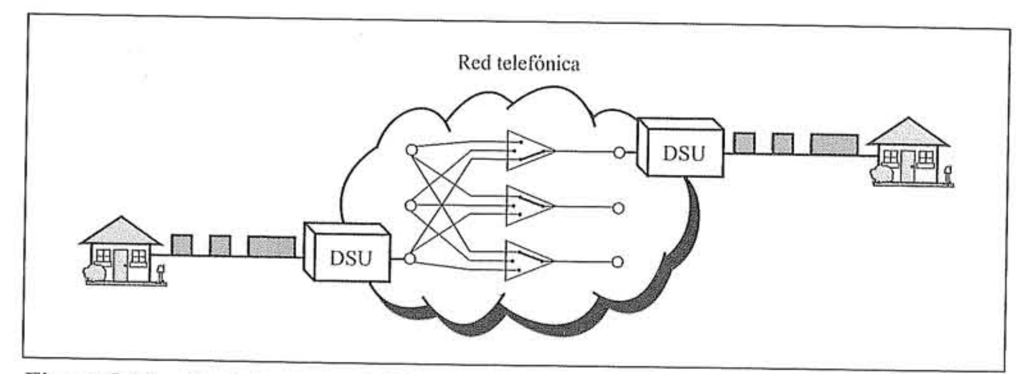


Figura 8.26. *Servicio conmutado/56.*

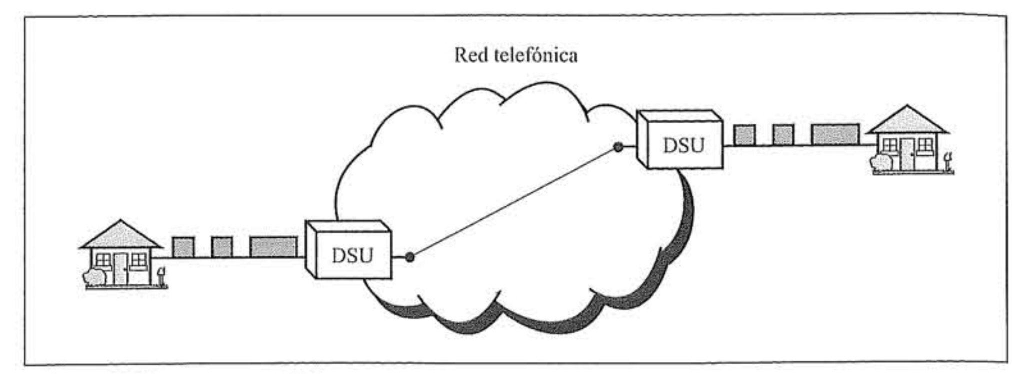


Figura 8.27. *Servicio DDS.*

Ancho de banda bajo demanda. El servicio conmutado/56 proporciona ancho de banda bajo demanda, permitiendo a los abonados obtener velocidades más altas usando más de una línea (véase la sección anterior sobre multiplexación inversa). Esta acción permite al servicio conmutado/56 soportar las vídeo-conferencias, faxes rápidos, multimedia y transferencia de datos rápidos entre otras características.

Servicio de datos digitales (DDS)

El **servicio de datos digitales (DDS,** *Data Digital Service*) es la versión digital de una línea analógica dedicada; es una línea digital dedicada con un ancho de banda máximo de 64 Kbps.

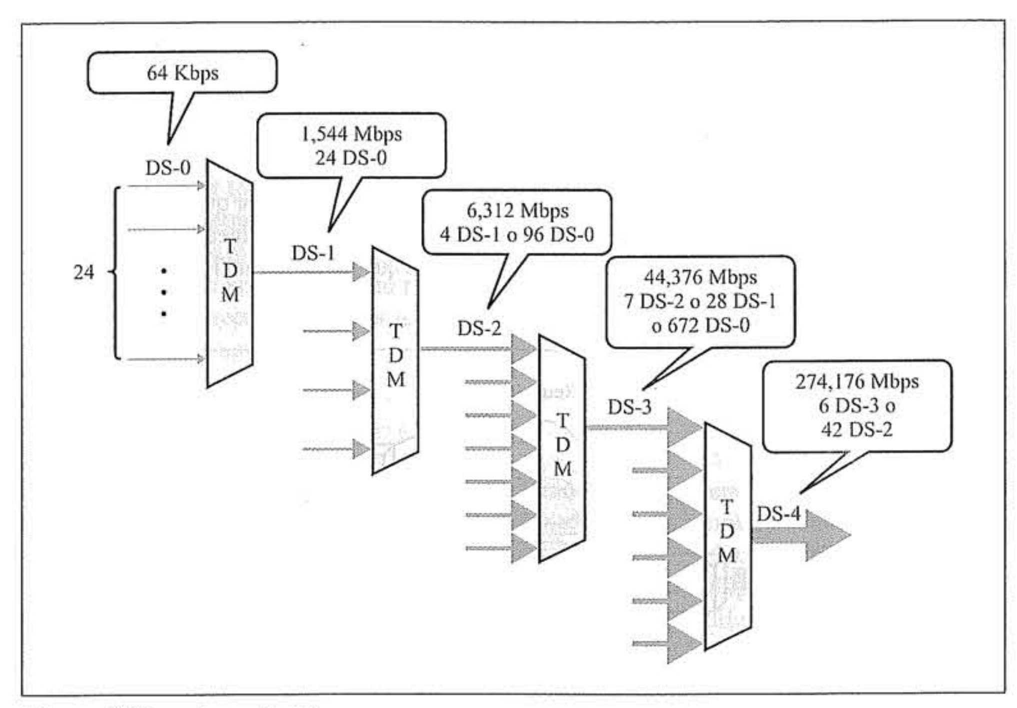


Figura 8.28. *Jerarquía DS.*

Al igual que conmutado/56, el DDS necesita el uso de una DSU. Sin embargo, la DSU para este servicio es más barata que la necesaria para el conmutado/56, porque no necesita el dispositivo de marcado (véase la Figura 8.27).

Servicio de señal digital (DS)

Después de ofrecer los servicios conmutado/56 y DDS, las compañías telefónicas tienen la necesidad de desarrollar una jerarquía de servicios digitales muy similar a la de los servicios analógicos. El siguiente paso fue el **servicio de señal digital (DS,** *Digital Service*). El DS es una jerarquía de señales digitales. La Figura 8.28 muestra las tasas de datos proporcionadas por cada nivel.

- Un servicio DS-0 recuerda al DDS. Es un único canal digital de 64 Kbps.
- El DS-1 es un servicio de 1,544 Mbps; 1,544 Mbps es 24 veces 64 Kbps más 8 Kbps de sobrecarga. Se puede usar como un único servicio para una transmisión de 1,544 Mbps, o se puede usar para multiplexar 24 canales DS-0 o para llevar cualquier otra combinación deseada por el usuario siempre que quepa en la capacidad de 1,544 Mbps.
- El DS-2 es un servicio de 6,312 Mbps; 6,312 Mbps es 96 veces 64 Kbps más 168 Kbps de sobrecarga. Se puede usar como un único servicio para transmisiones de 6,312 Mbps o se puede usar para multiplexar 4 canales DS-1, 96 canales DS-0 o cualquier combinación de estos tipos de servicios.
- El DS-3 es un servicio de 44,376 Mbps; 44,376 Mbps es 672 veces 64 Kbps más 1,368 Mbps de sobrecarga. Se puede usar como un único servicio para transmisiones de 44,376 Mbps o se puede usar para multiplexar 7 canales DS-2, 28 canales DS-1, 672 canales DS-0 o una combinación de estos tipos de servicios.
- El DS-4 es un servicio de 274,176 Mbps; 274,176 Mbps es 4.032 veces 64 Kbps más 16, 128 Mbps de sobrecarga. Se puede usar para multiplexar 6 canales DS-3, 42 canales DS-2,168 canales DS-1, 4.032 canales DS-0 o cualquier combinación de estos tipos de servicios.

Líneas T

DS-0, DS-1, etc., son los nombres de los servicios. Para implementar estos servicios, las compañías telefónicas usan **líneas T** (T-1 a T-4). Estas líneas tienen capacidades que coinciden precisamente con las tasas de datos de los servicios DS-1 a DS-4 (véase la Tabla 8.1).

El T-1 se usa para implementar el DS-1, el T-2 se usa para implementar el DS-2, etc. Como puede ver en la Tabla 8.1, DS-0 no se ofrece realmente como un servicio, pero se ha

Tabla 8.1. *DS y tasas de líneas T*

Servicio	*Línea*	*Tasa (Mbps)*	*Canales de voz*
DS-1	T-1	1,544	24
DS-2	T-2	6,312	96
DS-3	T-3	44,736	672
DS-4	T-4	274,176	4.032

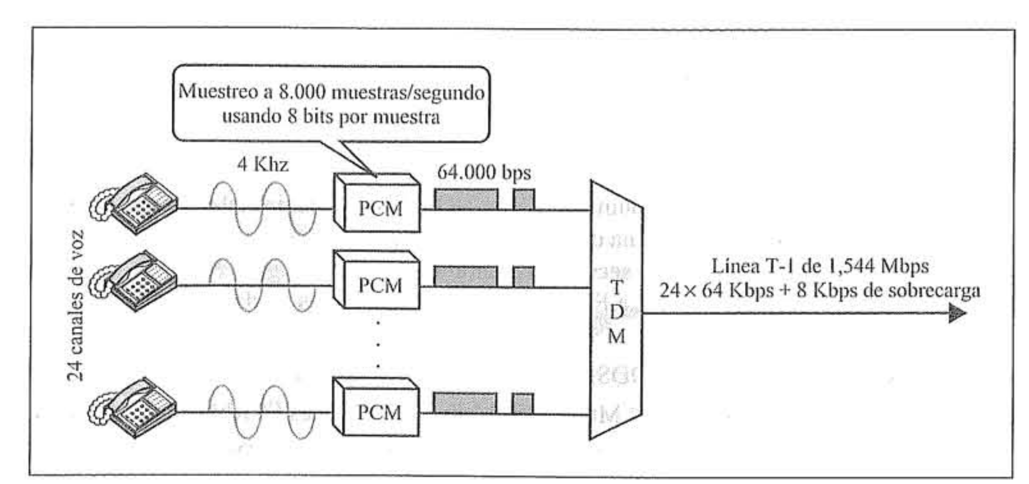


Figura 8.29. *Línea T-1 para multiplexar líneas telefónicas.*

definido como base de referencia para los otros. Las compañías telefónicas creen que los clientes que necesitan el nivel de servicio que se encontraría en DS-0 pueden sustituirlo con el DDS.

Líneas T para transmisión analógica. Las líneas T son líneas digitales diseñadas para transmisión de datos digitales, voz o señales de audio. Sin embargo, también se pueden usar para transmisión analógica (conexiones telefónicas regulares), asumiendo que las señales analógicas son muestreadas y después multiplexadas por división en el tiempo.

La posibilidad de usar líneas T como portadoras analógicas ha abierto una nueva generación de servicios para las compañías telefónicas. Anteriormente, cuando una organización quería 24 líneas de teléfono distintas, necesitaba traer 24 pares de cables trenzados desde la compañía al intercambiador central. (¿Recuerda esas viejas películas que muestran a un ejecutivo muy ocupado con 10 teléfonos encima de su mesa? ¿O los viejos teléfonos de la oficina con un cable gordo que salía de ellos? Estos cables contenían un puñado de líneas distintas.)

Actualmente, esa misma organización puede combinar las 24 líneas dentro de una línea T-1 y llevar la línea T-1 hasta el intercambiador. La Figura 8.29 muestra cómo sus 24 canales de voz se pueden multiplexar dentro de una línea T-1 (para recordar la codificación PCM revise el Capítulo 5).

Trama T-1. Como se ha dicho antes, el DS-1 necesita una sobrecarga de 8 Kbps. Para comprender cómo se calcula esta sobrecarga, es necesario examinar el formato de una trama de 24 canales.

La trama que se usa en una línea T-1 es habitualmente de 193 bits divididos en 24 ranuras de 8 bits cada una más 1 bit extra para sincronización ($24 \times 8 + 1 = 193$); véase la Figura 8.30. En otras palabras, cada ranura contiene 1 segmento de señal de cada canal; los 24 segmentos se intercalan en una trama. Si una línea T-1 lleva 8.000 tramas, la tasa de datos es 1,544 Mbps ($193 \times 8.000 = 1{,}544$ Mbps), la capacidad de la línea.

Líneas T fraccionadas. Muchos abonados no necesitan toda la capacidad de una línea T. Para satisfacer las necesidades de los clientes, las compañías telefónicas han desarrollado servicios de **líneas T fraccionadas,** que permiten a varios abonados compartir una línea multiplexando sus transmisiones.

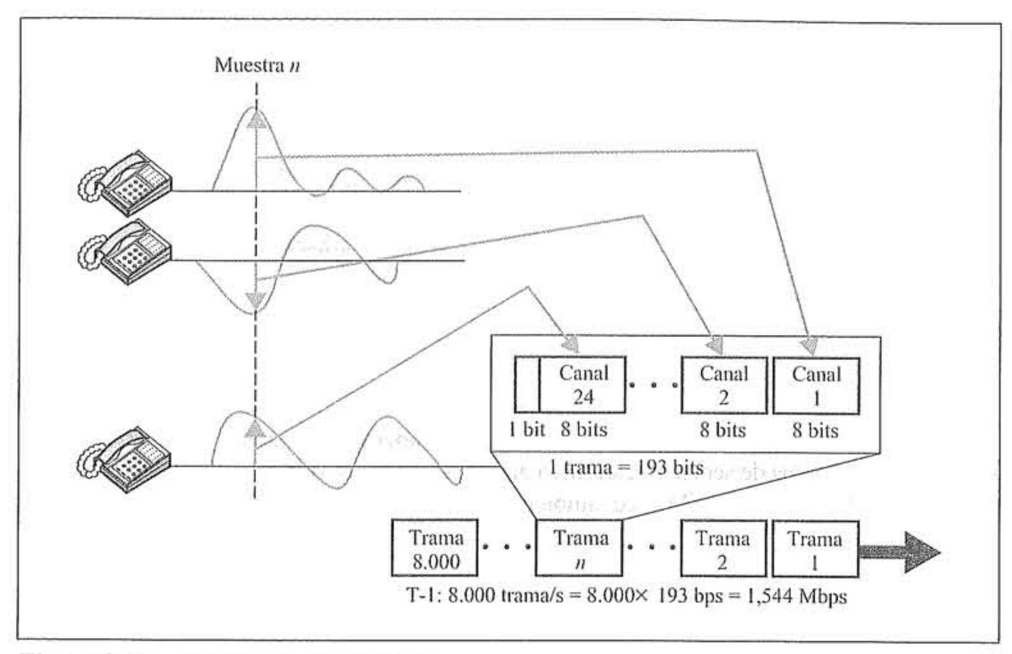


Figura 8.30. *Estructura de la trama T-1.*

Por ejemplo, un negocio pequeño puede necesitar solamente un cuarto de la capacidad de una línea T-1. Si cuatro negocios de este tamaño tienen oficinas en el mismo edificio, pueden compartir una línea T-1. Para hacerlo, dirigen sus transmisiones a través de un dispositivo denominado **unidad de servicio digital/unidad de servicio de canal (DSU/CSU).** Este dispositivo les permite dividir la capacidad de la línea en cuatro canales entrelazados (véase la Figura 8.31).

Líneas E

Los europeos usan una versión de las líneas T denominadas **líneas E.** Ambos sistemas son conceptualmente idénticos, pero sus capacidades son distintas. La Tabla 8.2 muestra las líneas E y sus capacidades.

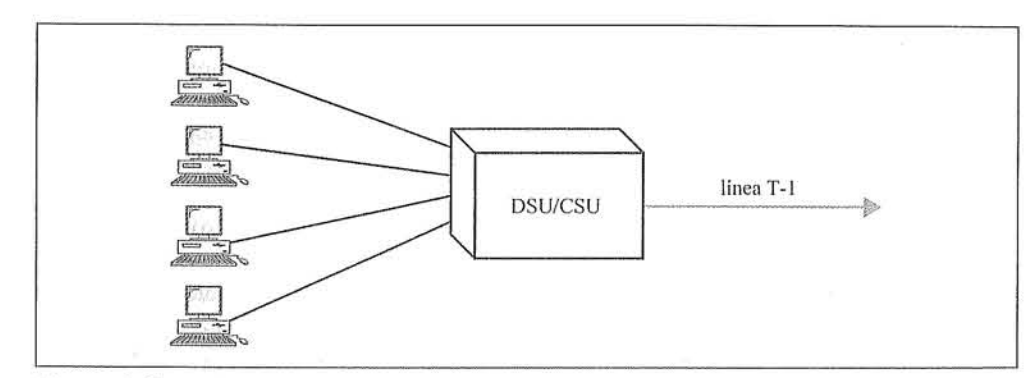


Figura 8.31. *Línea fraccionada T-1.*

Tabla 8.2. *Tasas de las líneas E*

Línea	*Tasa (Mbps)*	*Canales de voz*
E-1	2,048	30
E-2	8,448	120
E-3	34,368	480
E-4	139,264	1.920

Otros servicios multiplexados

Hemos tratado la multiplexación sobre un cable físico, pero la multiplexación es igualmente vital para el uso eficiente de las transmisiones por microondas terrestres y vía satélite. Actualmente, las compañías de servicio telefónico han presentado nuevos y potentes servicios, tales como la RDSI, SONET y ATM, que también dependen de la multiplexación. Estos servicios se tratan en los Capítulo 16 al 20.

8.6. LÍNEA DE ABONADO DIGITAL (DSL)

Un ejemplo de multiplexación, demultiplexación y modulación es una tecnología denominada «familia DSL». La **línea de abonado digital (DSL,** *Digital Subscription Line*) es una tecnología nueva que usa las redes de telecomunicaciones existentes, como la línea telefónica de bucle local, para conseguir entrega de datos, voz vídeo y multimedia con alta velocidad.

La DSL es una familia de tecnologías; en esta sección se tratan cinco de ellas: ADSL, RADSL, HDSL, VDSL y SDSL.

ADSL

Las compañías telefónicas han instalado redes digitales de área amplia de alta velocidad para manejar las comunicaciones entre sus oficinas centrales. Sin embargo, el enlace entre el usuario (abonado) y la red sigue siendo una línea analógica (bucle local). El reto es hacer estas líneas digitales –línea de suscripción digital– sin cambiar el bucle local existente. El bucle local es un cable de par entrelazado con un ancho de banda potencial de 1 MHz o más.

La **línea de abonado digital asimétrica (ADSL,** *Asymmetric Digital Subscriber Line*) es asimétrica, lo que significa que proporciona tasas de bits mayores en la dirección de entrada (desde la central telefónica a la casa del abonado) que en la dirección de salida (desde la casa del abonado a la central telefónica). Esto suele ser lo que quieren los abonados. Quieren recibir archivos grandes rápidamente de Internet, pero habitualmente tienen archivos pequeños para enviar, tales como correos electrónicos cortos.

ADSL divide el ancho de banda de un cable de par trenzado (1 megaherzio) en tres bandas. La primera banda, habitualmente entre 0 y 25 KHz, se usa para el servicio telefónico regular (conocido como servicio telefónico POTS). Este servicio usa habitualmente solo 4 KHz en esta banda; el resto se usa como banda de guarda para separar el canal de voz de los canales de datos. La segunda banda, habitualmente entre 25 y 200 KHz, se usa para la comunicación de salida. La tercera banda, habitualmente entre 250 KHz y 1 MHz, se usa para comunicación de entrada. Algunas implementaciones solapan la banda de entrada y salida para proporcionar más ancho de banda en la dirección de entrada. La Figura 8.32 muestra las bandas.

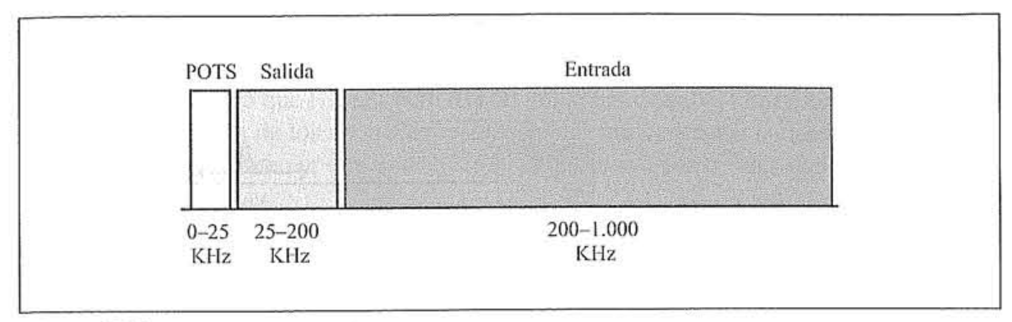


Figura 8.32. *Bandas para ADSL.*

Técnicas de modulación

La mayoría de las implementaciones de ADSL usaron originalmente una técnica de modulación denominada amplitud/fase sin portadora (CAP, *Carrierless Amplitude/Phase*). Posteriormente, ANSI estandarizó otra técnica de modulación conocida como multitono discreta (DMT, *Discrete Multi-Tone*).

CAP. La modulación/fase sin portadora (CAP) es una técnica de modulación similar a QAM, pero con una diferencia importante: se elimina la señal portadora. Sin embargo, esta técnica es más compleja que la QAM y no está estandarizada.

DMT. La modulación con **técnica multitono discreta (DMT)** combina QAM y FDM. El ancho de banda disponible en cada dirección se divide en canales de 4 KHz, cada uno de los cuales tiene su propia frecuencia portadora.

La Figura 8.33 muestra el concepto de DMT con N canales. Los bits creados por el origen se pasan a través de una serie de conversores serie-paralelo, donde un bloque de N bits se divide en N flujos paralelos, cada uno de los cuales está formado por un bit. Las señales QAM creadas a partir de cada flujo se multiplexan juntas en frecuencia y el resultado es enviado a través de la línea.

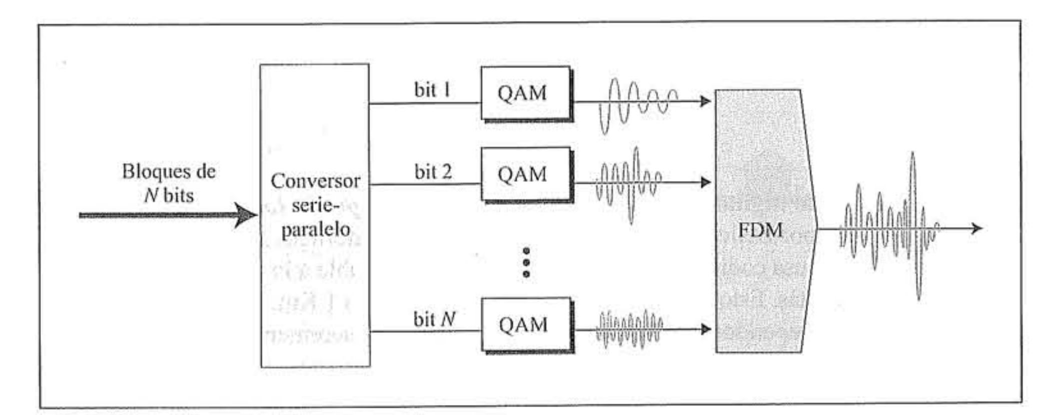


Figura 8.33. *DMT.*

Figura 8.34. *Módem ADSL.*

El estándar ANSI define una tasa de 60 bps para cada canal de 4 KHz, lo que significa una modulación QAM con 15 bits por baudio.

- El canal de salida ocupa habitualmente 25 canales, lo que significa una tasa de bits de 25 × 60 Kbps, o 1,5 Mbps. Sin embargo, habitualmente la tasa de bits en esta dirección varía entre 64 Kbps a 1 Mbps debido al ruido.
- El canal de entrada ocupa habitualmente 200 canales, lo que significa una tasa de bits de 200 × 60 Kbps o 12 Mbps. Sin embargo, habitualmente, la tasa de bits en esta dirección varía entre 500 Kbps y 8 Mbps debido al ruido.

La Figura 8.34 muestra el ADSL y la tasa de bits en cada dirección.

RADSL

La **línea de abonado digital asimétrica con velocidad adaptativa (RADSL,** *Rate Adaptive Asymmetric Digital Subscriber Line*) es una tecnología basada en ADSL. Permite conseguir distintas tasas de datos dependiendo del tipo de comunicación: voz, datos, multimedia, etcétera. También se pueden asignar distintas tasas a los abonados basándose en sus demandas de ancho de banda. RADSL es beneficioso para el cliente porque el coste se basa en la tasa de datos que necesita.

HDSL

La **línea de abonado digital de alta tasa de bits (HDSL,** *High Bit Rate Digital Subscriber Line*) fue diseñada por Bellcore (ahora Telcordia) como una alternativa a la línea T-1 (1,544 Mbps). La línea T-1 usa codificación AMI, que es muy susceptible a la atenuación cuando se usa en frecuencias altas. Esto limita la longitud de una línea T-1 a 1 Km. Para distancias mayores, es necesario un repetidor (amplificador), lo que significa incrementar los costes.

HDSL usa codificación 2B1Q (vea el Capítulo 16), que es menos susceptible a la atenuación. Se puede conseguir una tasa de datos de casi 2 Mbps sin repetidores hasta una distancia de 3,6 Km. HDSL usa dos pares de hilos de par trenzado para conseguir transmisiones dúplex.

SDSL

La **línea de abonado digital simétrica** (o línea única) (**SDSL,** *Symmetric Digital Subscriber Line*) es lo mismo que HDSL, pero usa un único par de cable trenzado, que está disponible para la mayoría de los abonados residenciales para conseguir la misma velocidad de datos que HDSL. Para crear una transmisión dúplex se usa una técnica denominada *cancelación de eco*.

VDSL

La **línea de abonado digital de tasa muy alta (VDSL,** *Very High Bit Rate Digital Subscriber Line*), un enfoque alternativo que es muy similar a ADSL, usa cable coaxial, fibra óptica o par trenzado para distancias cortas (300 a 1.800 metros). La técnica de modulación es DMT con una tasa de bits de 50 a 55 Mbps de entrada y 1,5 a 2,5 Mbps de salida.

8.7. FTTC

La fibra óptica tiene muchas ventajas, entre las cuales se encuentran la resistencia al ruido y su gran capacidad de ancho de banda. Sin embargo, comparado con otros tipos de cable, es muy cara. Las compañías telefónicas y de televisión por cable han diseñado un método denominado **fibra hasta la acera (FTTC,** *fiber to the curb*) para usar la fibra óptica y reducir los costes. La fibra óptica es el medio que transporta los datos desde la central de la compañía telefónica o desde la oficina de cabecera de una compañía de televisión por cable hasta el bordillo. El medio que se usa desde el bordillo hasta la casa de los abonados es más barato y suele ser par trenzado o cable coaxial.

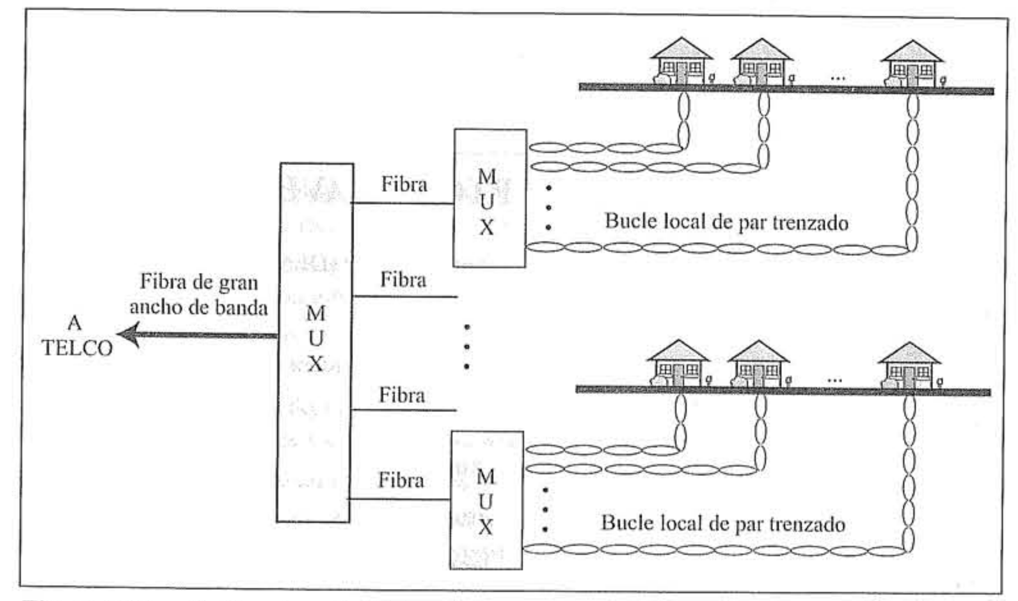


Figura 8.35. *FTTC en la red telefónica.*

Figura 8.36. *FTTC en la red telefónica.*

FTTC en la red telefónica

El sistema de telefonía usa cable de fibra óptica para conectar y multiplexar distintos canales de voz. Los cables de par trenzado de cobre que vienen de los abonados individuales se multiplexan en las cajas de unión y se convierten en señales ópticas. Las señales ópticas de la estación de conmutación se multiplexan, usando WDM, para crear señales ópticas de mayor ancho de banda (véase la Figura 8.35).

FTTC en la red de TV por cable

El sistema de TV por cable usa cables con fibra óptica para conectar y multiplexar diferentes canales de cable. Los cables coaxiales que vienen de los abonados se multiplexan en las cajas de unión y se convierten a señales ópticas. Las señales ópticas se multiplexan en la estación de conmutación, usando WDM, para crear señales ópticas de mayor ancho de banda (véase la Figura 8.36).

8.8. TÉRMINOS Y CONCEPTOS CLAVE

acondicionamiento
amplitud/fase sin portadora (CAP)
ancho de banda
ancho de banda bajo demanda
banda de guarda
bit de trama
bucle local
camino
canal
conmutada/56
demultiplexor (DEMUX)
entrelazada
fibra hasta la acera (FTTC)
grupo
grupo jumbo
grupo maestro
jerarquía analógica
línea de abonado digital (DSL)

línea de abonado digital asimétrica (ADSL)
línea de abonado digital asimétrica con velocidad adaptativa (RADSL)
línea de abonado digital con una alta tasa de bits (VDSL)
línea de abonado digital de alta tasa de bits (HDSL)
línea de abonado digital simétrica (SDSL)
línea T fraccionada
línea T-1
línea T-2
línea T-3
línea T-4
líneas E
líneas T
multiplexación asíncrona por división en el tiempo
multiplexación de división en frecuencia (FDM)
multiplexación estadística por división en el tiempo
multiplexación inversa
multiplexación por división de onda (WDM)
multiplexación por división en el tiempo (TDM)
multiplexación síncrona por división en el tiempo
multiplexor
portadora común
relleno de bit
servicio analógico
servicio analógico conmutado
servicio analógico dedicado
servicio de datos digitales (DDS)
servicio de señal digital (DS)
sobrecarga
supergrupo
técnica multitono discreta (DMT)
unidad de servicio digital (DSU)
unidad de servicio digital/unidad de servicio canal (DSU/CSU)

8.9. RESUMEN

- La multiplexación es la transmisión simultánea de múltiples señales a través de un único enlace de datos.
- Dos tipos de multiplexación son la multiplexación en frecuencia (FDM) y la multiplexación por división en el tiempo (TDM).
- En FDM, cada señal modula una frecuencia portadora distinta. Las portadoras moduladas se combinan para formar una señal nueva que se envía al enlace.
- En FDM, los multiplexores modulan y combinan señales mientras que los demultiplexores descomponen y demodulan.
- En FDM, las bandas de guarda evitan que las señales moduladas se solapen e interfieran entre sí.
- En TDM, las señales digitales de *n* dispositivos se entrelazan entre sí, formando una trama de datos (bits, byte o cualquier otra unidad de datos).
- TDM se puede clasificar como síncrona o asíncrona (estadístico).
- En TDM síncrona, cada trama contiene al menos una ranura de tiempo dedicada a cada dispositivo. El orden en que cada dispositivo envía sus datos a la trama no varía. Si un dispositivo no tiene datos para enviar, su ranura de tiempo seguiría vacía.
- En TDM síncrona, se puede añadir un bit al principio de cada trama para sincronización.

- En TDM asíncrono, el orden de la ranura de tiempo en una trama depende de qué dispositivos tienen datos para enviar en ese momento.
- El TDM asíncrono añade las direcciones de los dispositivos a cada ranura de tiempo.
- La multiplexación inversa reparte un flujo de datos proveniente de una línea de alta velocidad sobre muchas líneas de baja velocidad.
- Los servicios de telefonía pueden ser analógicos o digitales.
- Los servicios conmutados analógicos necesitan marcado, conmutación y un enlace dedicado temporalmente.
- El servicio analógico dedicado necesita un enlace dedicado permanentemente entre dos clientes. No es necesario marcar.
- Las compañías telefónicas usan la multiplexación para combinar los canales de voz en grupos sucesivamente mayores para conseguir una mayor eficiencia de transmisión.
- El servicio conmutado/56 es el equivalente digital de una línea analógica conmutada. Necesita una unidad de servicio digital (DSU) para asegurar una tasa de datos de 56 Kbps.
- El servicio de datos digitales (DDS) es el equivalente digital de una línea analógica dedicada. DDS también necesita una DSU.
- La señal digital (DS) es una jerarquía de señales TDM.
- Las líneas T (T-1 a T-4) son una implementación de los servicios DS. Una línea T-1 tiene 24 canales de voz.
- Los servicios T fraccionados permiten que varios abonados compartan una línea multiplexando sus señales.
- Las líneas T se usan en Norteamérica. El estándar europeo define una variante de las líneas llamada E.
- Las líneas de abonado digital (DSL) son una tecnología que usa las redes de telecomunicaciones existentes para conseguir alta velocidad en entrega de datos, voz, vídeo y multimedia.
- La familia DSL incluye las líneas de abonado digital asimétricas (ADSL), las líneas de abonado digital asimétricas con velocidad adaptativa (RADSL), las líneas de abonado digital con alta tasa de bits (HDSL), las líneas de abonado digital simétricas (SDSL) y las líneas de abonado digital con tasa de bits muy alta (VDSL).
- El ancho de banda de entrada en ADSL es casi 4,5 veces mayor que el ancho de banda de salida.
- ADSL usa las técnicas de fase/amplitud sin portadora (CAP) o la modulación multitono discreta (DMT).
- La multiplexación por división de onda (WDM) es similar en concepto a FDM. Sin embargo, las señales multiplexadas son ondas de luz.
- La TV por cable y las redes telefónicas usan fibra hasta la acera (FTTC) para reducir la cantidad de fibra óptica necesaria.
- La técnica multitono discreta combina elementos de QAM y FDM, dando como resultado un ancho de banda mucho mayor en la dirección de entrada.

8.10. MATERIAL PRÁCTICO

Preguntas de revisión

1. ¿Cuáles son las principales técnicas de multiplexación?
2. ¿Cómo combina FDM las múltiples señales en una?
3. ¿Cuál es el objetivo de una banda de guarda?
4. ¿Cómo se separa una señal FDM en sus componentes originales?
5. ¿En qué se parece WDM a FDM? ¿En qué son distintas?
6. ¿Cuáles son los dos tipos de TDM?
7. ¿Cómo combina TDM múltiples señales en una?
8. ¿Cuáles son los dos tipos de implementaciones TDM y en qué se diferencian entre sí?
9. ¿Cómo se separa una señal TDM en sus componentes originales? Explique ambas implementaciones de TDM.
10. ¿Cuál es la multiplexación inversa?
11. ¿Cuál es la diferencia entre un servicio analógico conmutado y un servicio analógico dedicado?
12. Describa la jerarquía analógica en la que los grupos de señales se multiplexan sucesivamente en líneas de más ancho de banda.
13. ¿Cuáles son los tres tipos de servicios digitales disponibles para los abonados telefónicos?
14. ¿Cuál es la función de una DSU en un servicio conmutado/56?
15. Describa la jerarquía DS.
16. ¿Cómo se relacionan las líneas T con el servicio DS?
17. ¿Cómo se pueden usar las líneas T para transmisión analógica?
18. ¿Cómo divide ADSL el ancho de banda de un cable de par trenzado?
19. ¿Cómo modula ADSL una señal?
20. ¿Qué es la FTTC y cómo se usa?
21. Indique las razones por las que los servicios digitales son mejores que los servicios analógicos.
22. ¿En qué se distingue una DSU de un módem?
23. ¿Cuál es la relación entre el número de ranuras en una trama y el número de líneas de entrada para TDM síncrona? ¿Y para TDM asíncrona?
24. Una señal DS-0 tiene una tasa de datos de 64 Kbps. ¿Cómo se obtiene este número?

Preguntas con respuesta múltiple

25. Compartir un medio y su enlace por dos o más dispositivos se denomina ____.
    a. modulación
    b. codificación
    c. disciplina de línea
    d. multiplexación
26. ¿Qué técnica de multiplexación transmite señales analógicas?
    a. FDM
    b. TDM síncrona
    c. TDM asíncrona
    d. b y c

27. ¿Qué técnica de multiplexación transmite señales digitales?
    a. FDNM
    b. TDM síncrona
    c. TDM asíncrona
    d. b y c
28. ¿Qué técnica de multiplexación desplaza cada señal a una frecuencia portadora distinta?
    a. FDM
    b. TDM síncrona
    c. TDM asíncrona
    d. ninguna de las anteriores
29. ¿Cuáles de las siguientes son necesarias para la multiplexación?
    a. enlace de datos de alta capacidad
    b. transmisiones paralelas
    c. QAM
    d. módems
30. La multiplexación requiere _____.
    a. un camino y un canal
    b. un camino y múltiples canales
    c. múltiples caminos y un canal
    d. múltiples caminos y múltiples canales
31. En la TDM síncrona, con n señales origen, cada trama contiene al menos ____ ranuras de tiempo.
    a. n
    b. $n + 1$
    c. $n - 1$
    d. 0 a n
32. En TDM asíncrona, para n señales origen, cada trama contiene m ranuras de tiempo, donde m es habitualmente _____ n.
    a. menor que
    b. mayor que
    c. igual
    d. 1 menos que
33. En la TDM asíncrona, la tasa de transmisión del canal multiplexado es habitualmente _____ la suma de la tasa de transmisión de las señales origen.
    a. mayor que
    b. menor que
    c. igual a
    d. 1 menos que
34. ¿Qué tipo de multiplexación tiene múltiples caminos?
    a. FDM
    b. TDM asíncrona
    c. TDM síncrona
    d. multiplexación inversa
35. ¿Qué tipo de servicio telefónico es más barato?
    a. línea analógica conmutada
    b. línea analógica dedicada
    c. servicio conmutado/56
    d. servicios DDS

36. ¿Qué tipo de servicio telefónico analógico necesita marcado?
    a. línea analógica conmutada
    b. línea analógica dedicada
    c. servicio conmutado/56
    d. servicio DDS
37. ¿Qué tipo de servicio analógico proporciona una línea dedicada entre dos clientes?
    a. línea conmutada analógica
    b. línea analógica dedicada
    c. servicio conmutado/56
    d. todo lo anterior
38. Los servicios conmutados implican que las conexiones entre los abonados deben tener _____.
    a. módems
    b. líneas dedicadas
    c. marcado
    d. líneas dedicadas
39. Los servicios dedicados implican que las conexiones entre los abonados deben tener _____.
    a. módems
    b. líneas dedicadas
    c. marcado
    d. desplazamiento de fase
40. Para disminuir la atenuación y la distorsión de la señal, se puede usar una línea _____.
    a. multiplexada
    b. conectada a tierra
    c. extendida
    d. condicionada
41. El servicio conmutado/56, el 56 significa _____.
    a. número de líneas dedicadas posibles por conexión
    b. la tasa de datos en Kbps
    c. número de microsegundos para hacer una conexión
    d. la resistencia de la línea en ohms
42. Una unidad de servicio digital (DSU) es necesaria para _____.
    a. servicio DDS
    b. servicio conmutado/56
    c. servicio dedicado analógico
    d. a y b
43. ¿Qué servicio telefónico ofrece al abonado la elección de velocidad de transmisión?
    a. servicio analógico conmutado
    b. servicio analógico dedicado
    c. servicio conmutado/56
    d. servicio DS
44. En la jerarquía FDM de AT&T, el ancho de banda de cada tipo de grupo se puede encontrar multiplicando _____ y añadiendo el ancho de banda extra para bandas de guarda.
    a. número de canales de voz por 4.000 Hz
    b. la tasa demostrada por 4.000 Hz

c. el número de canales de voz por 8 bits/muestra
d. la tasa demostrada por 8 bits/muestra

45. DS-0 hasta DS-4 son _____, mientras que T-1 hasta la T-4 son _____.
a. servicios, multiplexores
b. servicios, señales
c. servicios, líneas
d. multiplexores, señales

46. En una línea T-1, hay entrelazado a nivel de _____.
a. bit
b. byte
c. DS-0
d. conmutador

47. Las bandas de guarda incrementan el ancho de banda en _____.
a. FDM
b. TDM síncrona
c. TDM asíncrona
d. todas las anteriores

48. ¿Qué técnica de multiplexación implica señales compuestas de haces de luz?
a. FDM
b. TDM síncrona
c. TDM asíncrona
d. WDM

49. DSL es un ejemplo de _____.
a. multiplexación
b. demultiplexación
c. modulación
d. todas las anteriores

50. En la familia DSL, _____ usa codificación 2B1Q para reducir los efectos de la atenuación.
a. ADSL
b. RADSL
c. HDSL
d. VDSL

51. En la familia DSL, para _____, el coste es dependiente del tipo de comunicación deseado.
a. ADSL
b. RADSL
c. HDSL
d. VDSL

52. _____ es similar a HDSL, pero usa únicamente un único par de cables trenzados.
a. SDSL
b. ADSL
c. VDSL
d. RDSL

53. Si la distancia del abonado a la central telefónica es 1.800 metros o menos, _____ es una buena elección.
a. SDSL
b. ADSL

c. VDSL
d. RDSL

54. En ADSL la banda de frecuencia más grande se usa para _____.
a. POTS
b. comunicación de entrada
c. comunicación de salida
d. todos los anteriores

55. En ADSL la banda de frecuencia más pequeña se usa para _____.
a. POTS
b. comunicación de entrada
c. comunicación de salida
d. todas las anteriores

56. _____ es una técnica de modulación que elimina el uso de una señal portadora.
a. TDM
b. FDM
c. CAP
d. DMT

57. _____ es una técnica de modulación que usa elementos de QAM y FDM.
a. TDM
b. CAP
c. DMT
d. FTTC

58. En FTTC _____ es el medio que va desde la central de la compañía de cable hasta el bordillo del abonado.
a. coaxial
b. par trenzado
c. par sin trenzar
d. fibra óptica

Ejercicios

59. Dada la información siguiente, encuentre el ancho de banda mínimo para el camino:
Multiplexación FDM.
Cinco dispositivos, cada uno de los cuales necesita 4.000 Hz.
Una banda de guarda de 200 Hz para cada dispositivo.

60. Dada la información siguiente, encuentre el ancho de banda máximo para cada fuente de señal:
Multiplexación FDM.
Ancho de banda total disponible = 7.900 Hz.
Tres fuentes de señal.
Una banda de guarda de 200 Hz para cada dispositivo.

61. Tenemos cuatro señales multiplexadas. Se toma una medida n de la señal multiplexada. ¿Qué representa n en FDM? ¿Qué representa n en TDM?

62. Tenemos cinco fuentes de señal multiplexadas usando TDM síncrona. Cada fuente produce 100 caracteres por segundo. Asuma que hay un entrelazado a nivel de byte y que cada trama necesita un bit de sincronización. ¿Cuál es la tasa de tramas? ¿Cuál es la tasa de bits del camino?

63. ¿Cómo se calcula el número de ranuras de tiempo por trama en TDM asíncrona?
64. Dibuje las tramas de TDM síncrona mostrando los datos de los caracteres para la siguiente información:
    Cuatro fuentes de señal.
    Mensaje de la fuente 1: T E G
    Mensaje de la fuente 2: A
    Mensaje de la fuente 3:
    Mensaje de la fuente 4: E F I L
65. Rehaga el problema anterior asumiendo TDM asíncrona y un tamaño de trama de tres caracteres.
66. ¿Cuál es la duración temporal de una trama T-1?
67. La línea T-2 ofrece un servicio de 6,312 Mbps. ¿Por qué este número no es 4 × 1,544 Mbps?
68. Asuma que hay una pequeña ciudad con 500 vecinos, cada uno de los cuales tiene teléfono. Si cada conexión de una casa es punto a punto (una línea dedicada), ¿cuántas líneas son necesarias en total? ¿Puede ayudar la técnica de la multiplexación?
69. El ancho de banda para los servicios conmutados analógicos está habitualmente entre 0 y 4.000 Hz. ¿Por qué?
70. En la Figura 8.29 la tasa de muestreo es 8.000 muestras por segundo. ¿Por qué?
71. Si una fibra óptica monomodo puede transmitir a 2 Gbps, ¿cuántos canales telefónicos puede llevar un cable?
72. Calcule la sobrecarga (en bits) por canal de voz de cada línea T. ¿Cuál es el porcentaje de sobrecarga por canal de voz?
73. Tres líneas de voz, cada una de las cuales usa 4 KHz, se multiplexan frecuentemente juntas usando AM y cancelando la banda de modulación más baja. Dibuje la representación en el dominio de la frecuencia de la señal resultante si las frecuencias de la portadora son 4, 10 y 16 KHz respectivamente. ¿Cuál es el ancho de banda de la señal resultante?
74. Si se quiere combinar 20 señales de voz (cada una de 4 KHz) con una banda de guarda de 1 KHz entre ellas, ¿cuánto ancho de banda se necesita?

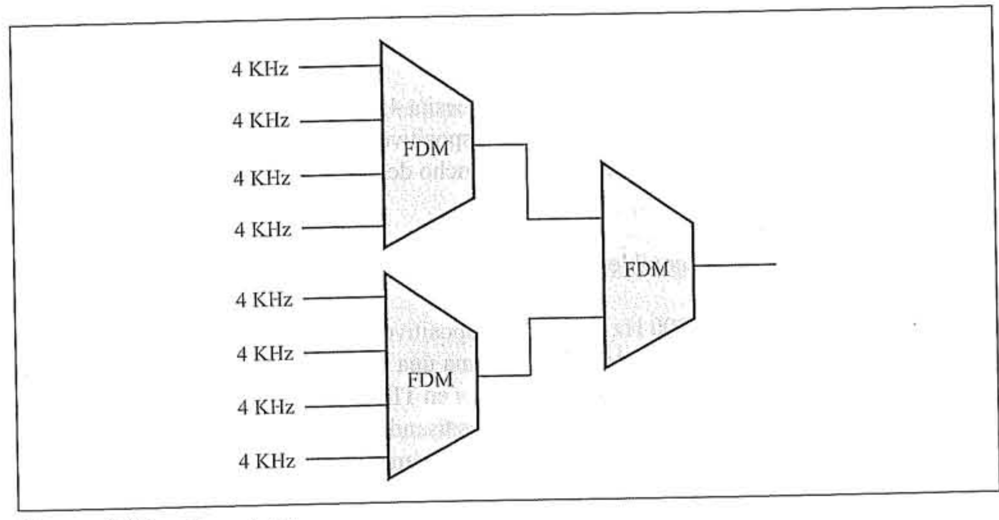


Figura 8.37. *Ejemplo 75.*

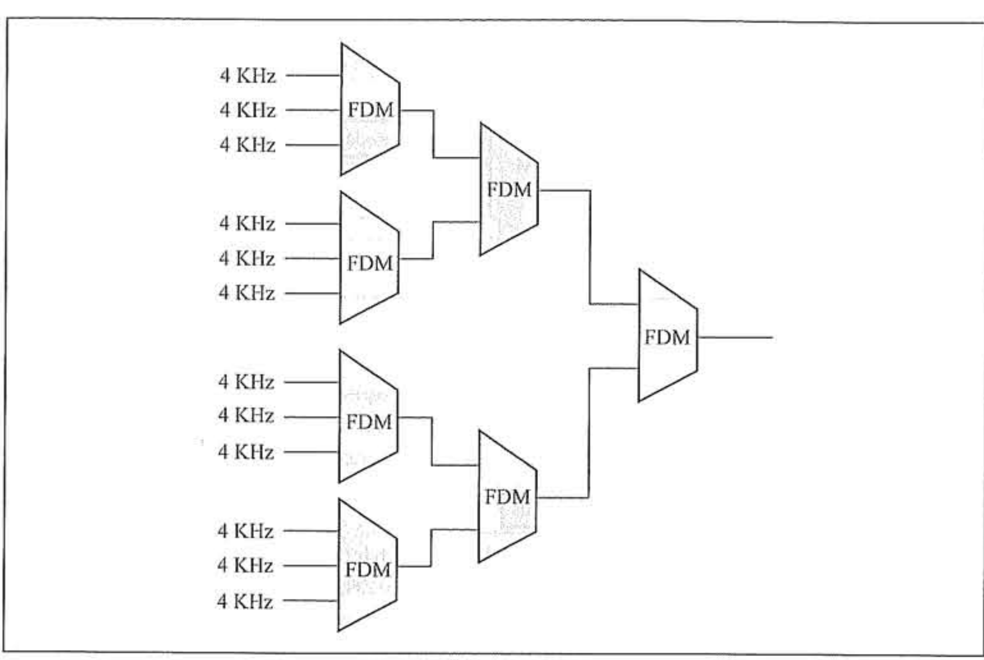


Figura 8.38. *Ejemplo 76.*

75. Muestre la representación en el dominio de la frecuencia de las señales resultantes en cada etapa en la Figura 8.37. Asuma que no hay bandas de guarda. Elija las frecuencias portadoras apropiadas.
76. Muestre la representación en el dominio de frecuencia de las señales resultantes en cada etapa en la Figura 8.38. Asuma que no hay bandas de guarda. Elija las frecuencias portadoras apropiadas.

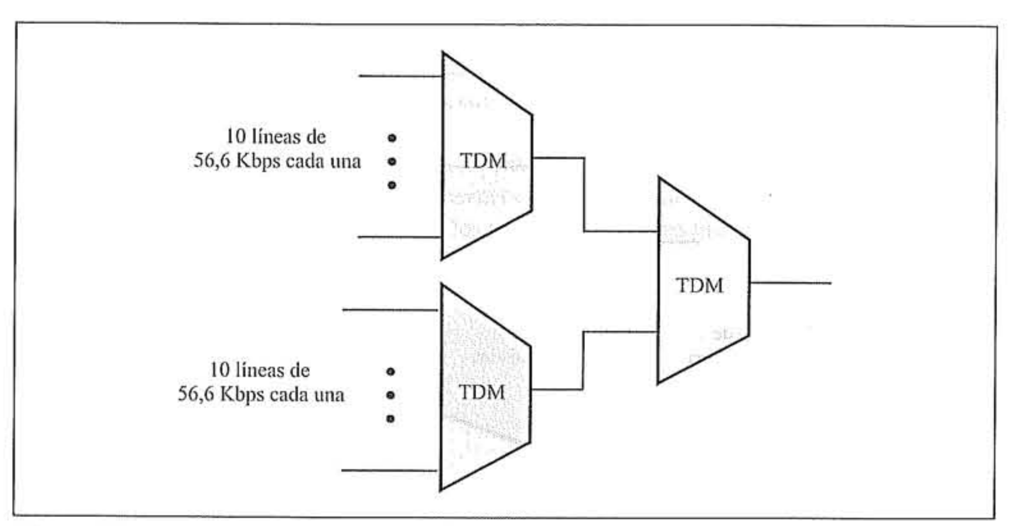


Figura 8.39. *Ejemplo 79.*

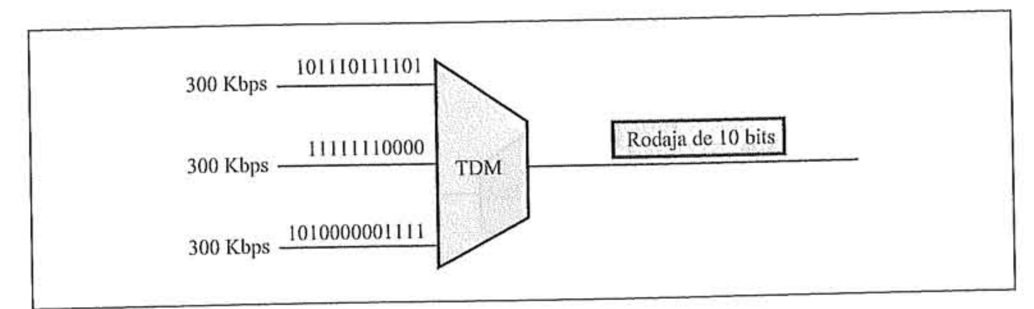


Figura 8.40. *Ejemplo 80.*

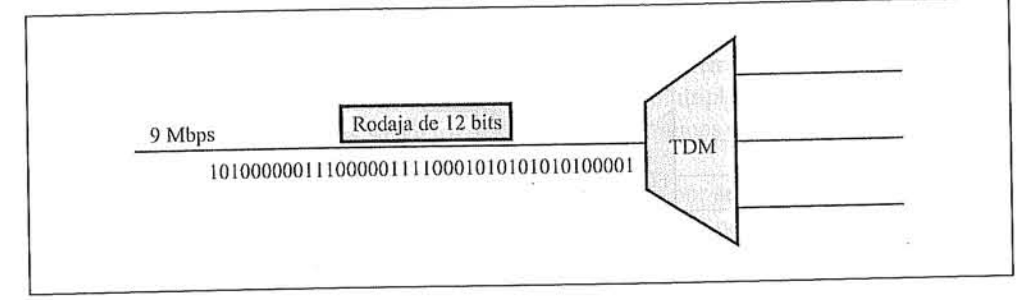


Figura 8.41. *Ejemplo 81.*

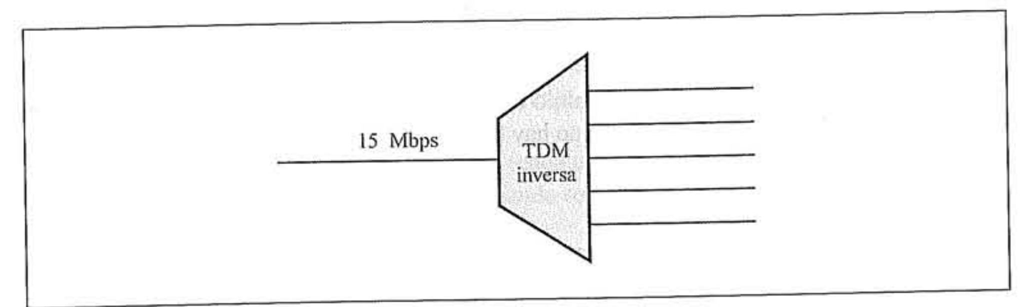


Figura 8.42. *Ejemplo 82.*

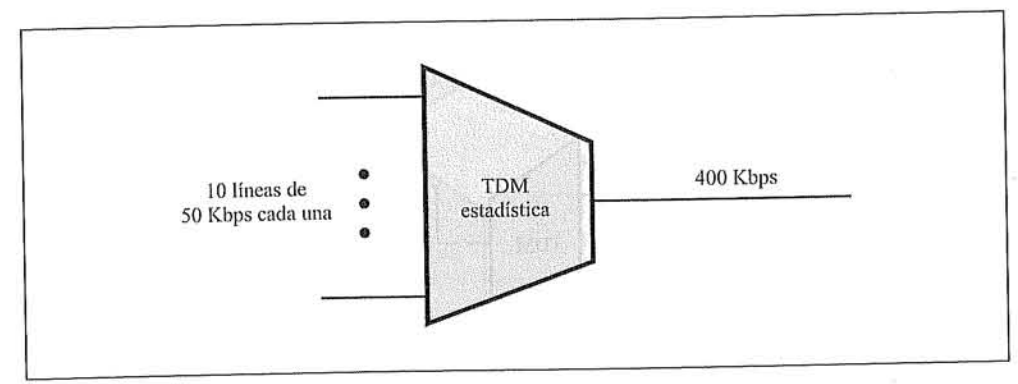


Figura 8.43. *Ejemplo 83.*

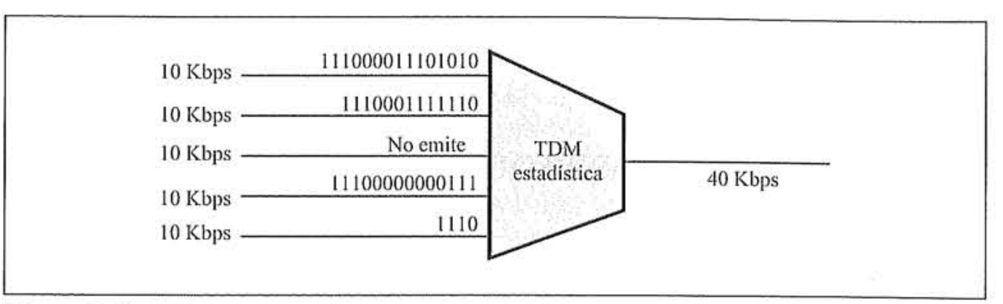


Figura 8.44. *Ejemplo 84.*

77. Se han multiplexado 100 computadoras usando TDM síncrona. Si cada computadora envía datos a la velocidad de 14,4 Kbps, ¿cuál es la tasa de bits mínima de la línea?, ¿puede una línea T-1 manejar esta situación?
78. En el Ejercicio 77, si solo hay 70 computadoras que envíen cada vez, ¿cuánto ancho de banda se desperdicia?
79. ¿Cuál es la tasa de bits mínima de cada línea en la Figura 8.39 si se usa TDM síncrona? Ignore los bits de trama (sincronización).
80. La Figura 8.40 muestra un multiplexor. Si la longitud de la ranura es solamente de 10 bits (tres bits de cada entrada más 1 bit de trama), ¿cuál es el flujo de bits de salida?, ¿cuál es la tasa de bits de salida?, ¿cuál es la duración de cada bit en la línea de salida?, ¿cuántas ranuras se envían por segundo?, ¿cuál es la duración de cada ranura?
81. La Figura 8.41 muestra un demultiplexor. Si la ranura de entrada es de 12 bits de longitud (ignore los bits de trama), ¿cuál es el flujo de bits en cada salida?, ¿cuál es la tasa de bits para cada línea de salida?
82. La Figura 8.42 muestra un multiplexor inverso. Si la tasa de datos de entrada es 15 Mbps, ¿cuál es la tasa de cada línea?, ¿se pueden usar líneas de servicio T-1 para este objetivo? Ignore los bits de trama.
83. La Figura 8.43 muestra un multiplexor estadístico TDM. ¿En cuánto se reduce la tasa de datos de cada línea si todas las líneas envían datos? ¿Cuántas estaciones pueden enviar datos al mismo tiempo con capacidad completa? Ignore los bits extra necesarios para direccionamiento.
84. La Figura 8.44 muestra un multiplexor estadístico TDM. ¿Cuál es la salida? Ignore los bits extra de direccionamiento.
85. ¿Cuál es la sobrecarga (número de bits extra por segundo) en una línea T-1?
86. Si queremos conectar dos LAN Ethernet con tasa de datos de 10 Mbps, ¿cuántas líneas T-1 son necesarias? ¿Son necesarios los multiplexores o los multiplexores inversos? Muestre la configuración.

CAPÍTULO 9

Detección y correción de errores

Las redes deben ser capaces de transferir datos desde un dispositivo a otro con una exactitud total. Un sistema que no puede garantizar que los datos recibidos de un dispositivo son idénticos a los transmitidos por otro es esencialmente inútil. Sin embargo, siempre que se transmiten datos de un origen a un destino, se pueden corromper por el camino. De hecho, es más probable que buena parte del mensaje se vea alterado en el tránsito que todos los contenidos lleguen intactos. Muchos factores, incluyendo el ruido de la línea, pueden alterar o eliminar uno o más bits de una unidad de datos determinada. Los sistemas fiables deben tener mecanismos para detectar y corregir tales **errores.**

> Los datos se pueden corromper durante la transmisión. Para tener una comunicación fiable, es necesario detectar y corregir los errores.

La detección y corrección de errores se implementa bien a nivel de enlace de datos o a nivel de transporte del modelo OSI.

9.1. TIPOS DE ERRORES

Siempre que una señal electromagnética fluye de un punto a otro, está sujeta a interferencias impredecibles debidas al calor, el magnetismo y diversas formas de electricidad. Esta interferencia puede cambiar la forma o la temporización de la señal. Si la señal transporta datos binarios codificados, tales cambios pueden alterar el significado de los datos. Cuando existe un error de bit, se cambia un 0 por un 1 o un 1 por un 0. En un error de ráfaga, se cambian múltiples bits. Por ejemplo, una ráfaga de ruido de impulso de 0,01 segundo en una transmisión con una tasa de datos de 1.200 bps podría cambiar todos o parte de 12 bits de información (véase la Figura 9.1).

Error de bit

El término **error de bit** significa que únicamente un bit de una unidad de datos determinada (tal como byte, carácter, unidad de datos o paquete) cambia de 1 a 0 o de 0 a 1.

> En un error de bit, solamente cambia un bit de la unidad de datos.

Errores

En un bit

De ráfaga

Figura 9.1. *Tipos de errores.*

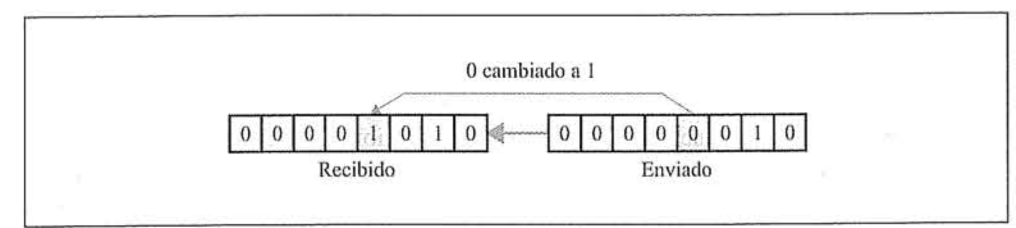


Figura 9.2. *Error de bit.*

La Figura 9.2 muestra el efecto de un error de bit de una unidad de datos. Para comprender el impacto de este cambio, imagine que cada grupo de 8 bits es un carácter ASCII con un 0 añadido a la izquierda. En la figura, se ha enviado el carácter 00000010 (ASCII STX), que indica *comienzo del texto*, pero se ha recibido 00001010 (ASCII LF), que significa *salto de línea*. (Para obtener más información sobre el código ASCII, vea el Apéndice A.)

Los errores en un único bit son el tipo de error menos probable en una transmisión de datos en serie. Para ver por qué, imagine que un emisor envía datos a 1 Mbps. Esto significa que cada bit dura únicamente 1/1.000.000 segundos, o 1 μs. Para que ocurra un error de bit, el ruido debe tener una duración de solo 1 μs, lo que es muy raro; normalmente el ruido dura mucho más que esto.

Sin embargo, puede ocurrir un error de bit si se están enviando datos usando transmisión paralela. Por ejemplo, si se usan ocho cables para enviar los ocho bit de un byte al mismo tiempo y uno de los cables es ruidoso, se puede corromper un bit de cada byte. Por ejemplo, piense en la transmisión paralela existente dentro de una computadora, entre la CPU y la memoria.

Error de ráfaga

El término **error de ráfaga** significa que dos o más bits de la unidad de datos han cambiado de 1 a 0 o de 0 a 1.

> Un error de ráfaga significa que dos o más bits de la unidad de datos han cambiado.

La Figura 9.3 muestra el efecto de un error de ráfaga sobre una unidad de datos. En este caso, se ha enviado 0100010001000011, pero se ha recibido 0101110101000011. Observe que un error de ráfaga no significa necesariamente que los errores se produzcan en bits consecutivos. La longitud de la ráfaga se mide desde el primero hasta el último bit correcto. Algunos bits intermedios pueden no ser corruptos.

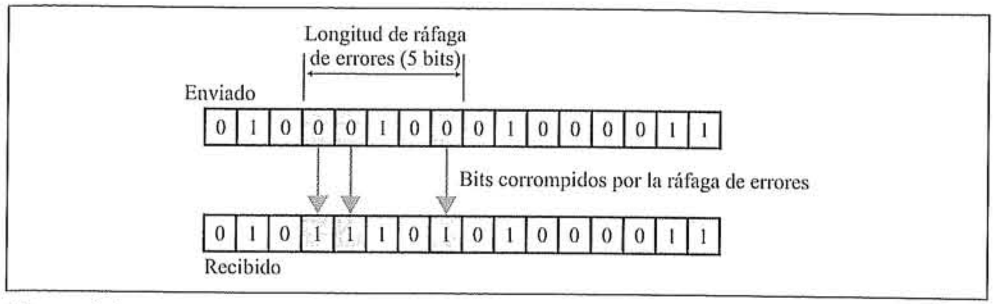


Figura 9.3. *Error de ráfaga de longitud cinco.*

La presencia de errores de ráfaga es más probable en las transmisiones serie. La duración del ruido es normalmente mayor que la duración de un bit, lo que significa que cuando el ruido afecta a los datos, afecta a un conjunto de bits. El número de bits afectados depende de la tasa de datos y la duración del ruido. Por ejemplo, si se está enviando datos a 1 Kbps, un ruido de 1/100 segundos puede afectar a 10 bits; si se envían datos a 1 Mbps, el mismo ruido podrían afectar a 10.000 bits.

9.2. DETECCIÓN

Incluso si se conoce qué tipo de errores pueden existir, ¿seremos capaces de reconocer uno cuando lo veamos? Si existe una copia de lo que se quería transmitir para poder comparar, por supuesto que seríamos capaces. Pero, ¿qué ocurre si no tenemos una copia del original? En ese caso no hay forma de saber si se ha recibido un error hasta que se ha decodificado la transmisión y se ve que no tiene sentido. Que una máquina comprobara los errores de esta forma sería lento, costoso y de un valor cuestionable. No es necesario tener un sistema en el cual las computadoras decodifiquen todo lo que llega, luego se sienten decidiendo si el emisor realmente quería usar la *palabra glbrshnif* en medio de un conjunto de estadísticas del tiempo. Lo que necesitamos es un mecanismo que sea sencillo y completamente objetivo.

Redundancia

Un mecanismo de **detección de errores** que satisfaría estos requisitos sería enviar dos veces cada unidad de datos. El dispositivo receptor sería entonces capaz de hacer una comparación bit a bit entre ambas versiones de los datos. Cualquier discrepancia indicaría un error y se podría corregir mediante un mecanismo apropiado. Este sistema sería completamente exacto (las probabilidades de introducir errores exactamente en los mismos bits de ambas copias serían infinitesimalmente pequeñas), pero también sería insoportablemente lento. No solamente se doblaría el tiempo necesario para la transmisión, sino que además habría que añadir el tiempo necesario para comparar cada unidad bit a bit.

El concepto de inclusión de información extra en la transmisión con el único propósito de comparar es bueno. Pero en lugar de repetir todo el flujo de datos, se puede añadir un grupo más pequeño de bits al final de cada unidad. Esta técnica se denomina **redundancia** porque los bits extra son redundantes a la información; se descartan tan pronto como se ha comprobado la exactitud de la transmisión.

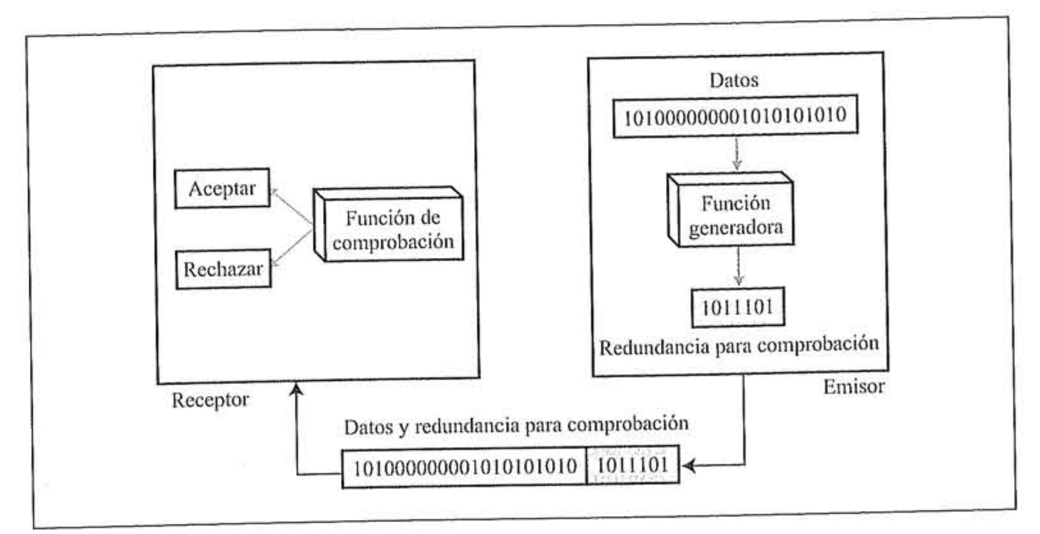


Figura 9.4. *Redundancia.*

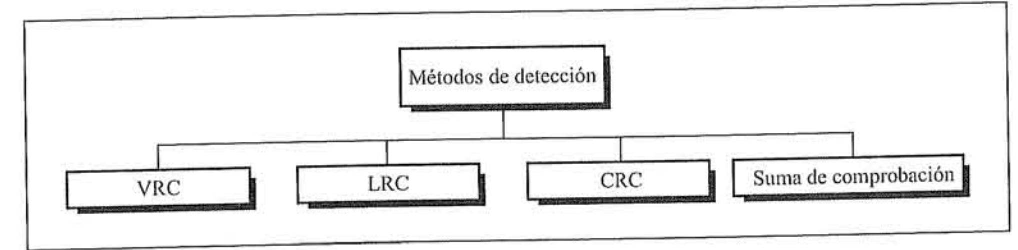


Figura 9.5. *Métodos de detección.*

> La detección de error usa el concepto de redundancia, que significa añadir bits extra para detectar en el destino los errores.

La Figura 9.4 muestra el proceso de uso de los bits redundantes para comprobar la exactitud de una unidad de datos. Una vez que se ha generado el flujo de datos, se pasa a través de un dispositivo que lo analiza y le añade un código redundante codificado apropiadamente. La unidad de datos, ahora alargada con varios bits (siete en la ilustración) viaja por el enlace hasta el receptor. El receptor pasa todo el flujo a través de una función de comprobación. Si el flujo de bits recibido pasa los criterios de comprobación, la porción de datos de la unidad de datos se acepta y los bits redundantes son descartados.

En las comunicaciones de datos se usan cuatro tipos de comprobaciones de redundancia: verificación de redundancia vertical (VRC, *vertical redundancy check*) (también llamada verificación de paridad), verificación de redundancia longitudinal (LRC, *longitudinal redundancy check*), verificación de redundancia cíclica (CRC, *cyclic redundancy check*) y suma de comprobación (*checksum*). Las tres primeras, VRC, LRC y CRC se implementan habitualmente en el nivel físico para que se puedan usar en el enlace de datos. La cuarta, la suma de comprobación, se usa principalmente en los niveles más altos (véase la Figura 9.5).

9.3. VERIFICACIÓN DE REDUNDANCIA VERTICAL (VRC)

El mecanismo de detección de errores más frecuente y más barato es la **verificación de redundancia vertical (VRC),** denominada a menudo **verificación de paridad.** En esta técnica, se añade un bit de redundancia, denominado **bit de paridad,** al final de cada unidad de datos de forma que el número total de unos en la unidad (incluyendo el bit de paridad) sea par.

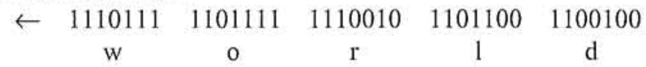
Suponga que se quiere transmitir la unidad de datos binarios 1100001 [ASCII *a* (97)]; véase la Figura 9.6. Si se suma el número de unos se obtiene 3, un número impar. Antes de transmitir, se pasa la unidad de datos a través de un generador de paridad. El generador de paridad cuenta los unos y añade el bit de paridad (un 1 en este caso) al final. El número total de unos es ahora 4, un número par. A continuación el sistema transmite la unidad expandida completa a través del enlace de red. Cuando alcanza el destino, el receptor pasa los 8 bits a través de una función de verificación de **paridad par.** Si el receptor ve 11100001, cuenta cuatro unos, un número par, y la unidad pasa la comprobación. Pero ¿qué ocurre si la unidad de datos ha sufrido daños en el tránsito? ¿Qué ocurre si en lugar de recibir 11100001 el receptor ve 11100101? En ese caso, cuando el comprobador de paridad cuenta los unos obtiene cinco, un número impar. El receptor sabe que en alguna parte se ha producido un error en los datos y por tanto rechaza la unidad completa.

> Con la verificación de redundancia vertical (VRC), se añade un bit a cada unidad de datos de forma que el número total de unos sea par.

Observe que en, aras a la simplicidad, se está hablando únicamente de la verificación de paridad par, donde el número de unos debería ser un número par. Algunos sistemas podrían usar verificación de **paridad impar,** donde el número de unos debería ser impar. El principio es el mismo, pero el cálculo es distinto.

Ejemplo 9.1

Imagine que el emisor quiere enviar la palabra «world». En ASCII (vea el Apéndice A) los cinco caracteres se codifican como



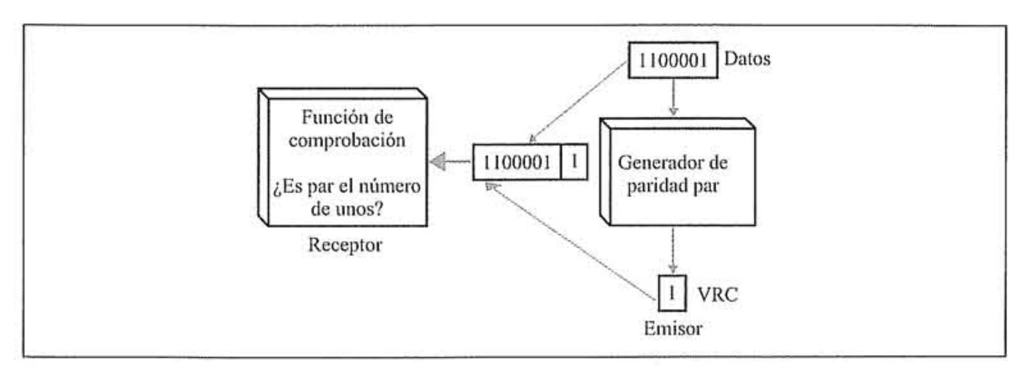


Figura 9.6. *Concepto de VRC con paridad par.*

Cada uno de los cuatro primeros caracteres tiene un número par de unos, por lo que su bit de paridad es 0. Sin embargo, el último carácter («d») tiene tres unos (un número impar), por lo que su bit de paridad es 1 para que el número total de unos sea par. A continuación se muestran los bits enviados realmente (los bits de paridad están subrayados).

← 11101110 11011110 11100100 11011000 11001001

Ejemplo 9.2

Suponga ahora que la palabra «world» del ejemplo anterior es recibida por el receptor sin que haya habido ningún problema de corrupción en la transmisión.

← 11101110 11011110 11100100 11011000 11001001

El receptor cuenta los unos en cada carácter y obtiene números pares (6, 6, 4, 4, 4). Aceptaría los datos.

Ejemplo 9.3

Suponga ahora que la palabra «world» del Ejemplo 9.1, es recibida por el receptor pero que sus datos han sido corrompidos durante la transmisión.

← 111*1*1110 11011110 1110*1*100 11011000 11001001

El receptor cuenta los unos en cada carácter y obtiene números pares e impares (7, 6, 5, 4, 4). El receptor sabe que los datos están corruptos, los descarta y solicita su retransmisión.

Prestaciones

VRC puede detectar todos los errores en un único bit. También puede detectar errores de ráfagas siempre que el total de números de bits cambiados sea impar (1, 3, 5, etc.). Supongamos que hay una unidad de datos con paridad par donde el número total de unos, incluyendo el bit de paridad, es 6:1000111011. Si tres bits cualquiera cambian su valor, la paridad resultante sería impar y se detectaría el error:1*111*111011: 9, 0*11*0111011: 7, 1*1*000*1*0011: 5, todos impares. El comprobador de VRC devolvería como resultado 1 y se rechazaría la unidad. Esto mismo es cierto para cualquier número de errores impares.

Sin embargo, suponga que dos bits de la unidad de datos cambian su valor:1*11*0111011: 8, 1*1*00*0*11011: 6, 1000*0*1101*0*: 4. En cada caso, el número de unos en la unidad de datos sigue siendo par. El comprobador de VRC los sumará y devolverá un número par, aunque la unidad de datos contiene dos errores. VRC no puede detectar errores cuando el número total de bits cambiados sea par. Si cambian dos bits cualesquiera durante la transmisión, los cambios se anulan entre sí y la unidad de datos pasará la verificación de paridad aunque sea erróneo. Esto mismo es cierto para cualquier número de errores pares.

> VRC puede detectar todos los errores en un único bit. Solamente puede detectar errores de ráfaga si el número total de errores en cada unidad de datos es impar.

9.4. VERIFICACIÓN DE REDUNDANCIA LONGITUDINAL (LRC)

En la **verificación de redundancia longitudinal (LRC),** los bloques de bits se organizan en forma de tabla (filas y columnas). Por ejemplo, en lugar de enviar un bloque de 32 bits, se

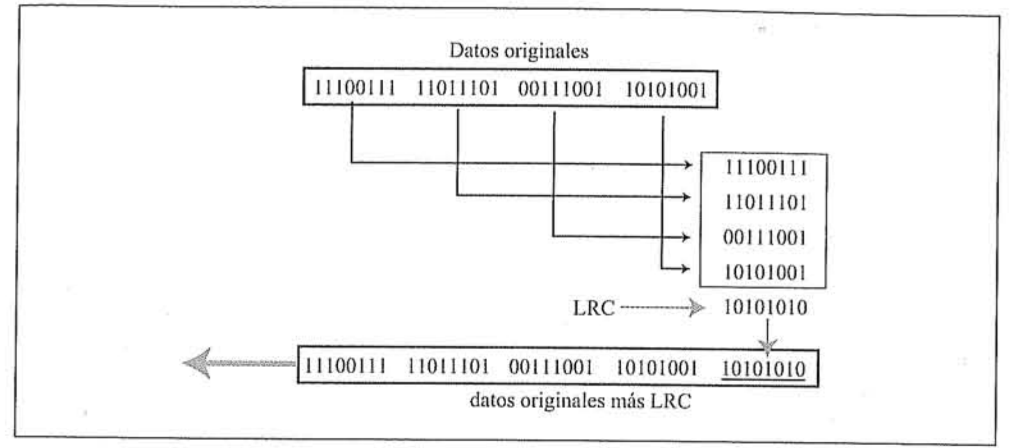


Figura 9.7. *LRC.*

organizan en una tabla de cuatro filas y ocho columnas, como se muestra en la Figura 9.7. A continuación se calcula un bit de paridad para cada columna y se crea una nueva fila de ocho bits, que son los bits de paridad de todo el bloque. Observe que el primer bit de paridad de la quinta fila se calcula basándose en todos los primeros bits. El segundo bit de paridad se calcula basándose en los segundos bits, etc. A continuación se añaden los ocho bits de paridad a los datos originales y se envían al receptor.

> En la verificación de redundancia longitudinal (LRC), un bloque de bits se divide en filas y se añade una fila de bits de redundancia a todo el bloque.

Ejemplo 9.4

Suponga que se envía el siguiente bloque:

← 10101001 00111001 11011101 11100111 10101010 (LRC)

Sin embargo, hay una ráfaga de ruido de longitud ocho y algunos bits se corrompen.

← 1010*0011* *1000*1001 11011101 11100111 10101010 (LRC)

Cuando el receptor comprueba el LRC, algunos de los bits no siguen la regla de paridad par y se descarta todo el bloque (los bits que no coinciden se muestran en negrita).

← 1010*0011* *1000*1001 11011101 11100111 **10101**010 (LRC)

Prestaciones

La LRC incrementa la probabilidad de detectar errores de ráfaga. Como se ve en el ejemplo anterior, una LRC de n bits puede detectar fácilmente un error de ráfaga de n bits. Un error de ráfaga de más de n bits tiene también grandes posibilidades de ser detectado por la LRC. Sin embargo, hay un patrón de errores que sigue sin ser detectado. Si se dañan dos bits de una unidad de datos y se dañan otros dos bits de otra unidad de datos que están exactamente en la misma posición, el comprobador de LRC no detectará un error. Por ejemplo, considere las dos

unidades de datos siguientes: 11110000 y 11000011. Si cambian el primer y el último bit de cada uno de ellos, haciendo que las unidades de datos sean *0*111000*1* y *0*100001*0*, no se pueden detectar los errores usando LRC.

9.5. VERIFICACIÓN DE REDUNDANCIA CÍCLICA (CRC)

La tercera y más potente técnica de verificación de redundancia es la **verificación de redundancia cíclica (CRC).** A diferencia de VRC y LRC, que se basan en la suma, la CRC se basa en la división binaria. Con la CRC, en lugar de sumar los bits juntos para conseguir una paridad determinada, se añade una secuencia de bits redundantes, denominados CRC o resto CRC, al final de la unidad de datos de forma que los datos resultantes sean divisibles exactamente por un número binario predeterminado. En el destino, la unidad de datos que se recibe es dividida por este mismo número. Si en este paso no hay resto, se asume que la unidad de datos es intacta y se acepta. La existencia de un resto indica que la unidad de datos ha sufrido daños durante el tránsito y que debe ser rechazada.

Los bits de redundancia usados en la CRC se obtienen dividiendo la unidad de datos por un divisor determinado; el resto es la CRC. Para que sea válida, una CRC debe tener dos cualidades: debe tener exactamente un bit menos que el divisor y añadirlo al final de la tira de datos debe hacer que el resultado sea exactamente divisible por el divisor.

Tanto la teoría como la aplicación de la detección de error con CRC son inmediatas. Su única complejidad es la obtención de la CRC. Comenzaremos con una introducción para clarificar este proceso e iremos añadiendo complejidad a medida que se avanza. La Figura 9.8 muestra un esquema con los tres pasos básicos.

En primer lugar, se añade una tira de n ceros a la unidad de datos. El número n es uno menos que el número de bits en el divisor predefinido, que tiene $n + 1$ bits.

En segundo lugar, la nueva unidad de datos se divide por el divisor usando un proceso denominado división binaria. El resto resultante de esta división es la CRC.

En tercer lugar, la CRC de n bits obtenida en el paso 2 sustituye a los ceros añadidos al final de la unidad de datos. Observe que la CRC puede estar formada por ceros.

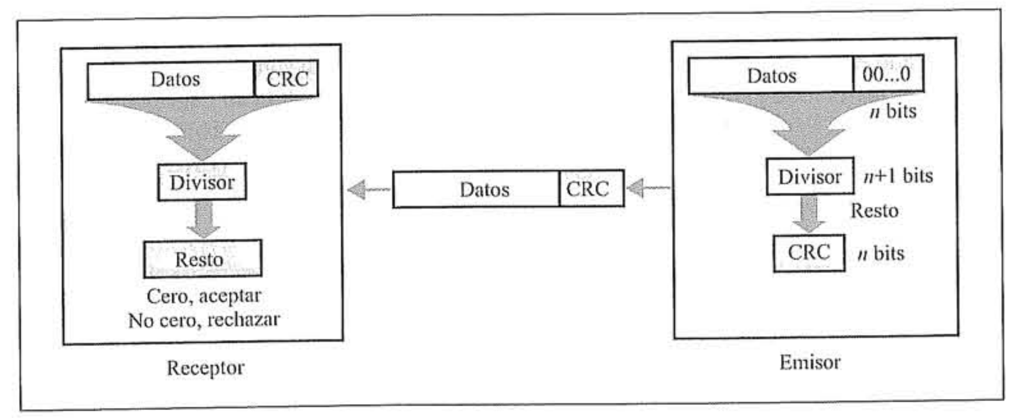


Figura 9.8. *Generador y comprobador de CRC.*

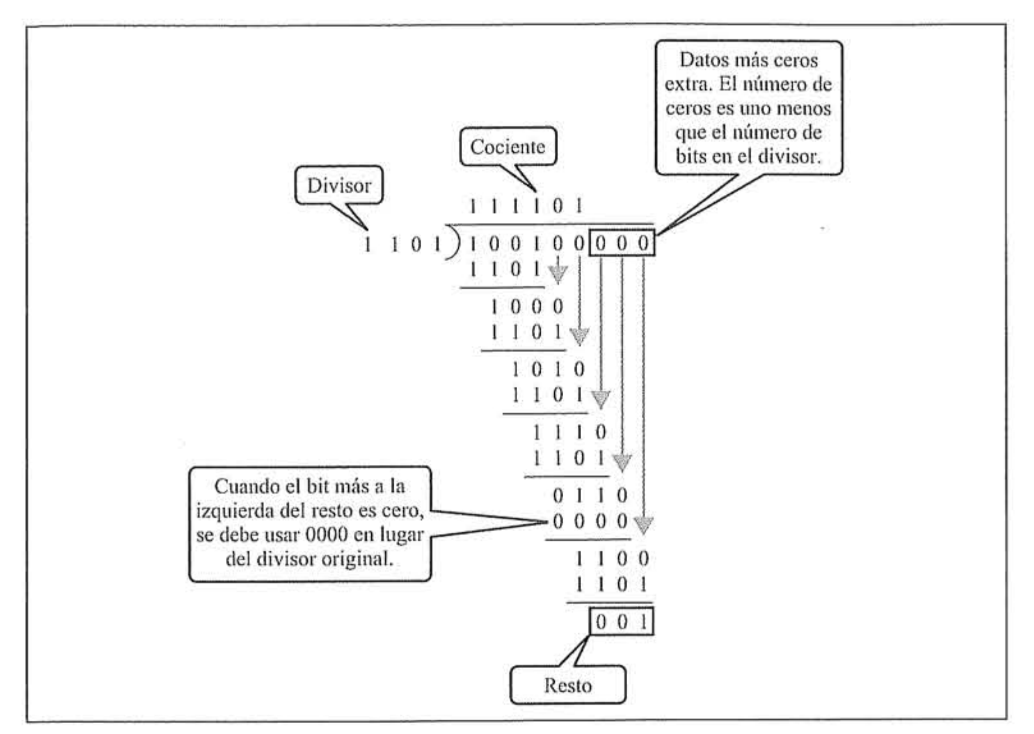


Figura 9.9. *División binaria en un generador de CRC.*

La unidad de datos llega al receptor en primer lugar, seguida por la CRC. El receptor trata toda la tira como una unidad y la divide por el mismo divisor que se usó para hallar el resto de la CRC.

Si la tira llega sin error, el comprobador de CRC obtiene un resto 0 y la unidad de datos se acepta. Si la tira ha cambiado durante la transmisión, la división arroja un resto no nulo y la unidad de datos no se acepta.

El generador de la CRC

Un generador de la CRC usa división módulo 2. La Figura 9.9 muestra este proceso. En el primer paso, el divisor de cuatro bits se resta de los primeros cuatro bits del dividendo. Cada bit del divisor se resta del bit correspondiente del dividendo sin afectar al bit que hay a continuación. En el ejemplo, el divisor 1101 se resta de los cuatro primeros bits del dividendo, 1001, arrojando 100 (el 0 inicial del resto se descarta).

A continuación se arrastra el siguiente bit sin usar del dividendo para hacer que el número de bits del resto sea igual al número de bits del divisor. Por tanto, el paso siguiente es 1000 – 1101, lo que arroja 101, continuando el proceso de esta misma forma.

En este proceso, el divisor siempre comienza con 1; el divisor se resta de una porción de la división dividendo/resto anterior que sea igual en longitud; el divisor solamente se puede restar de las divisiones dividendo/resto cuyo bit más a la izquierda es 1. Siempre que el bit más a la izquierda de la división dividendo/resto es 0, una tira de ceros de la misma longitud que el divisor reemplaza al divisor en ese paso del proceso. Por ejemplo, si el divisor tiene cuatro bits, se sustituye por cuatro ceros. (Recuerde que estamos trabajando con patrones de

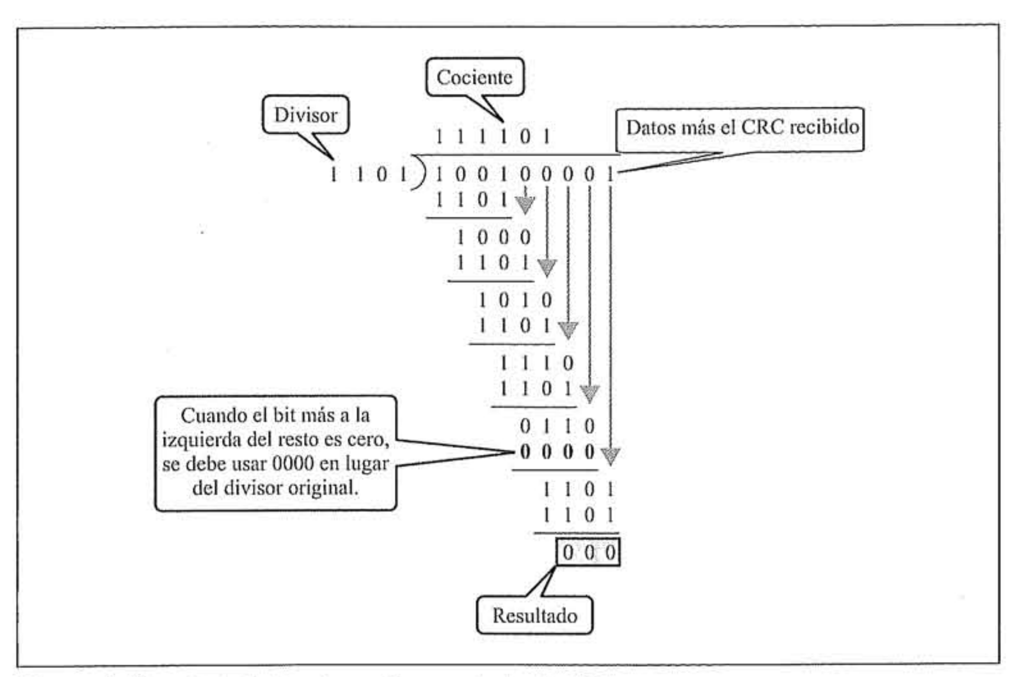


Figura 9.10. *División binaria en el comprobador de CRC.*

bits, no con valores cuantitativos; 0000 no es lo mismo que 0.) Esta restricción significa que, en cualquier paso, la resta más a la izquierda será 0 – 0 o 1 – 1, ambas igual a 0. Por tanto, después de la resta, el bit más a la izquierda del resto será siempre 0, por lo que se descarta, y se arrastra el siguiente bit sin usar del dividendo para completar el resto. Observe que únicamente se descarta el primer bit del resto: si el segundo bit es también 0, se mantiene, y el siguiente paso de la división dividendo/resto comenzará con un 0. Este proceso se repite hasta que se ha utilizado todo el dividendo.

El comprobador de CRC

Un comprobador de CRC funciona igual que el generador. Después de recibir los datos y la CRC, hace la siguiente división módulo 2. Si todo el resto son ceros, la CRC se descarta y se aceptan los datos; en cualquier otro caso, el flujo de bits recibido se descarta y se retransmiten los datos. La Figura 9.10 muestra el proceso de división en el receptor. Se asume que no hay error. Por tanto, todo el resto son ceros y se aceptan los datos.

$$x^7 + x^5 + x^2 + x + 1$$

Figura 9.11. *Un polinomio.*

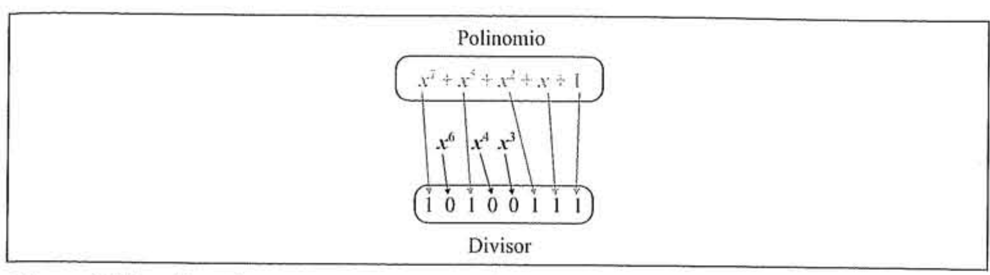


Figura 9.12. *Un polinomio que representa un divisor.*

Polinomios

El generador de la CRC (el divisor) no se suele representar a menudo como una tira de unos y ceros, sino como un polinomio algebraico (véase la Figura 9.11). El formato polinomial es útil por dos razones: es corto y se puede usar para demostrar conceptos matemáticamente (lo que está fuera del ámbito de este libro).

La relación de un polinomio con su correspondiente representación binaria se muestra en la Figura 9.12.

Se debería seleccionar un polinomio que tenga al menos las siguientes propiedades:

- No debería ser divisible por x.
- Debería ser divisible por $(x + 1)$.

La primera condición garantiza que se pueden detectar todos los errores de ráfaga de una longitud igual al grado del polinomio. La segunda condición garantiza que se detectan todos los errores de ráfaga que afectan a un número impar de bits (la demostración está fuera del ámbito de este libro).

Ejemplo 9.5

Es obvio que no se puede elegir x (binario 10) o $x^2 + x$ (binario 110) como polinomio porque ambos son divisibles por x. Sin embargo, se puede elegir $x + 1$ (binario 11) porque no es divisible por x, pero es divisible por $x + 1$. También se puede elegir $x^2 + 1$ (binario 101) porque es divisible por $x + 1$ (división binaria).

En la Figura 9.13 se muestran los polinomios estándares usados por los protocolos más populares para la generación de CRC. Los números 12, 16 y 32 se refieren al tamaño del resto CRC. Los divisores CRC son 13, 17 y 33 bits respectivamente.

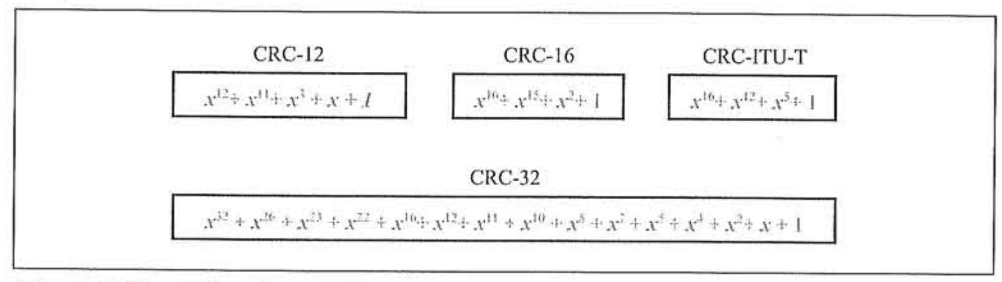


Figura 9.13. *Polinomios estándares.*

Prestaciones

CRC es un método de detección de errores muy efectivo. Si se elige el divisor de acuerdo a las reglas mencionadas anteriormente,

a. CRC puede detectar todos los errores de ráfaga que afectan a un número impar de bits.
b. CRC puede detectar todos los errores de ráfaga de longitud menor que o igual que el grado del polinomio.
c. CRC puede detectar con probabilidad muy alta errores de ráfaga con longitud mayor que el grado del polinomio.

Ejemplo 9.6

El CRC-12($x^{12}+x^{11}+x^3+x+1$), que tiene un grado de 12, detectará todos los errores de ráfaga que afectan a un número impar de bits, todos los errores de ráfaga con una longitud menor o igual que 12 y detectará el 99,97 % de errores de ráfaga con longitud mayor o igual a 12.

9.6. SUMAS DE COMPROBACIÓN

El método de detección usado por los protocolos de alto nivel se denomina **suma de comprobación.** Al igual que VRC, LRC y CRC, la suma de comprobación se basa en el concepto de redundancia.

Generador de suma de comprobación

En el emisor, el generador de suma de comprobación subdivide la unidad de datos en segmentos iguales de n bits (habitualmente 16). Estos segmentos se suman juntos usando aritmética en **complemento a uno** (véase el Apéndice C) de forma que la longitud total de la suma sea también n. A continuación, se complementa ese total (suma) y se añade al final de

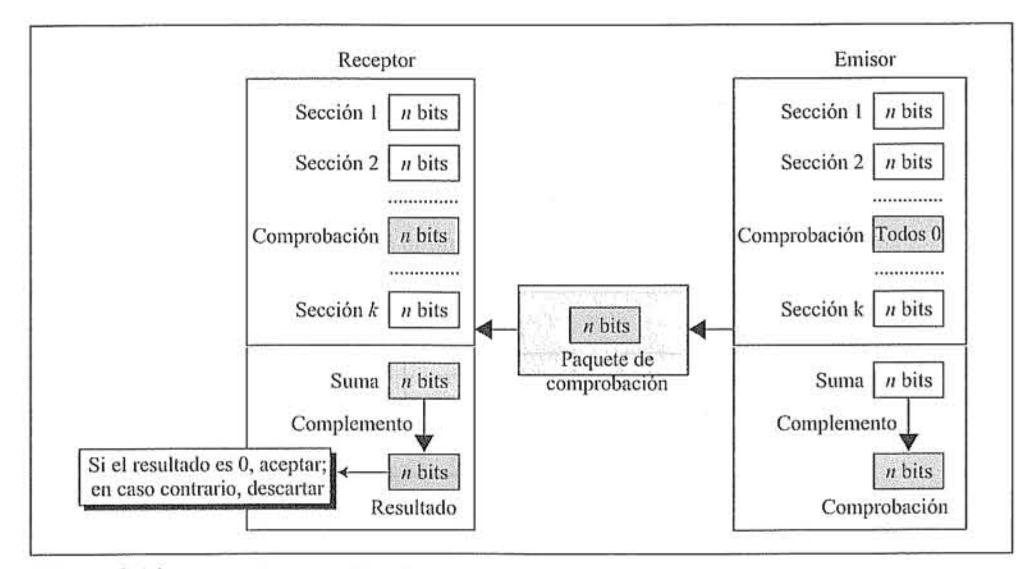


Figura 9.14. *Suma de comprobación.*

la unidad de datos originales como bits de redundancia, denominados campo de suma de comprobación. La unidad de datos extendida se transmite a través de la red. Si la suma del segmento de datos es T, la suma de comprobación sería –T (véanse las Figuras 9.14 y 9.15).

Comprobador de suma de comprobación

El receptor subdivide las unidades de datos como arriba, suma todos los segmentos y complementa el resultado. Si la unidad de datos extendida está intacta, el valor total que se obtiene al sumar los segmentos de datos y el campo de suma de comprobación debería ser 0. Si el resultado no es 0, el paquete contiene un error y el receptor lo rechaza (véase el Apéndice C).

El emisor sigue estos pasos:

- La unidad se divide en k secciones, cada una de ellas de n bits.
- Todas las secciones se suman juntas usando complemento a uno para obtener la suma.
- La suma se complementa y se convierte en la suma de comprobación.
- La suma de comprobación se envía con los datos.

El receptor sigue los pasos siguientes:

- La unidad se divide en k secciones, cada una de ellas de n bits.
- Todas las secciones se suman juntas usando complemento a uno para obtener la suma.
- Se complementa la suma.
- Si el resultado es 0, se aceptan los datos; en otro caso, se rechazan.

Ejemplo 9.7

Suponga que el siguiente bloque de 16 bits se va a enviar usando una suma de comprobación de 8 bits.

← 10101001 00111001

Los números se suman usando la aritmética complemento a uno (véase el Apéndice C).

	10101001
	00111001
Suma	11100010
Suma de comprobación	00011101

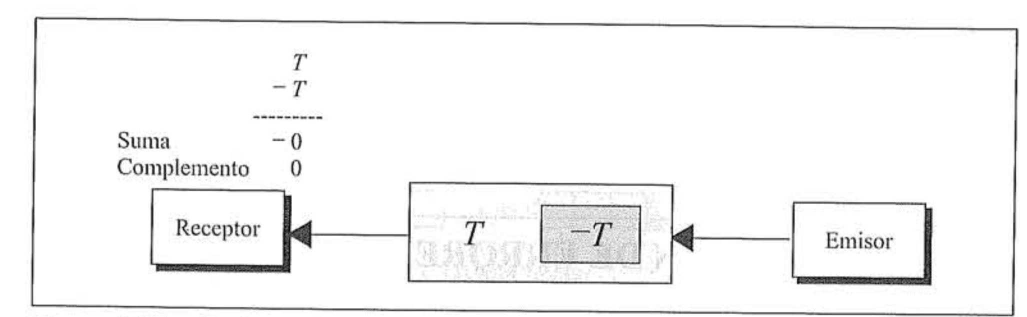


Figura 9.15. *Unidad de datos y suma de comprobación.*

El patrón enviado es:

← 10101001 00111001 00011101
Suma de comprobación

Ejemplo 9.8

Suponga ahora que el receptor recibe el patrón enviado en el ejemplo 9.7 y no hay error.

10101001 00111001 00011101

Cuando el receptor sume las tres secciones, obtendrá todo unos, que, después de ser complementado, dará todo ceros, lo que muestra que no hay error.

	10101001	
	00111001	
	00011101	
Suma	11111111	
Complemento	00000000	significa que el patrón es OK.

Ejemplo 9.9

Suponga ahora que hay un error de ráfaga de longitud cinco que afecta a cuatro bits.

10101*111* *11*111001 00011101

Cuando el receptor suma las tres secciones juntas, obtiene

	10101111	
	11111001	
	00011101	
Resultado	11000101	
Acarreo	1	
Suma	11000110	
Complemento	00111001	significa que el patrón es corrupto.

Prestaciones

La suma de comprobación detecta todos los errores que tienen que ver con un número de bits impares, así como la mayoría de los errores que afectan a un número de bits pares. Sin embargo, si uno o más bits de un segmento son dañados y también se daña el bit correspondiente o un bit de valor opuesto en un segundo segmento, las sumas de las columnas no cambiarán y el receptor no detectará el problema. Si el último dígito de un segmento es 0 y se cambia a 1 en la transmisión, entonces el último 1 en otro segmento debe cambiar a 0 para que el error no se detecte. En LRC, dos ceros podrían cambiar a unos sin alterar la paridad porque se descartan los acarreos. La suma de comprobación retiene todos los acarreos; por tanto, aunque dos ceros se cambien a unos no afectarían al valor de su columna, cambiarían el valor de la siguiente columna. Pero, cada vez que una inversión de bit se vea contrarrestada por una inversión del bit opuesto en el dígito correspondiente de otro segmento de datos, el error es invisible.

9.7. CORRECCIÓN DE ERRORES

Los mecanismos mostrados hasta el momento detectan errores pero no los corrigen. La **corrección de error** se puede conseguir de dos formas. En la primera, cuando se descubre un error, el receptor puede pedir al emisor que retransmita toda la unidad de datos. Con la segunda, el receptor puede usar un código corrector de errores, que corrija automáticamente determinados errores.

En teoría, es posible corregir cualquier error automáticamente en un código binario. Sin embargo, los códigos correctores de errores son más sofisticados que los códigos detectores de errores y necesitan más bits de redundancia. El número de bits necesarios para corregir un error de varios bits o un error de ráfaga es tan alto que en la mayoría de los casos su uso no resulta eficiente. Por esta razón, la mayoría de la corrección se limita a errores de uno, dos o tres bits.

Corrección de errores en un único bit

El concepto subyacente en la corrección de errores se puede comprender más fácilmente examinando el caso más sencillo: errores en un único bit.

Como se vio anteriormente, los errores en un único bit se pueden detectar añadiendo un bit de redundancia (paridad) a la unidad de datos (VRC). Un único bit adicional puede detectar errores en un único bit en cualquier secuencia de bits porque debe distinguir únicamente dos condiciones: error o no error. Un bit tiene dos estados (0 y 1). Estos dos estados son suficientes para este nivel de detección.

Pero ¿qué ocurre si además de detectar errores en un único bit se quieren corregir? Dos estados son suficientes para detectar un error, pero no para corregirlo. Un error se produce cuando el receptor lee un bit 1 como un 0 o un 0 como un 1. Para corregir el error, el receptor únicamente debe invertir el valor del bit alterado. Sin embargo, para hacer esto, debe saber en qué bit está el error. Por tanto, el secreto de la corrección de errores es localizar el bit o bits inválidos.

Por ejemplo, para corregir un error de bit en un carácter ASCII, el código de corrección de error debe determinar cuál de los siete bits ha cambiado. En este caso, es necesario distinguir entre ocho estados distintos: no error, error en posición 1, error en posición 2, etc., hasta el error en posición 7. Esto necesita suficientes bits de redundancia para mostrar los ocho estados.

A primera vista, parece que añadir un código de redundancia de tres bits sería adecuado porque estos tres bits pueden mostrar ocho estados distintos (000 a 111) y, por tanto, pueden indicar la posición de las ocho posibilidades distintas. Pero ¿qué ocurre si hay un error en los propios bits de redundancia? Siete bits de datos (el carácter ASCII) más tres bits de redundancia son 10. Sin embargo, tres bits pueden identificar únicamente ocho posibilidades. Por tanto, es necesario añadir más bits para cubrir todas las posibles posiciones del error.

Bits de redundancia

Para calcular el número de bits de redundancia (r) necesarios para corregir un número de bits de datos determinado (m), es necesario encontrar una relación entre m y r. La Figura 9.16

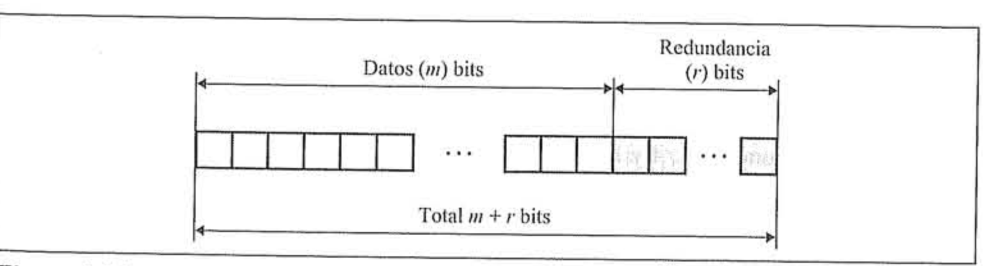


Figura 9.16. *Bits de datos y de redundancia.*

muestra m bits de datos con r bits de redundancia añadidos. La longitud del código resultante es $m + r$.

Si el número total de bits en una unidad transmisible es $m+r$, entonces r debe ser capaz de indicar al menos $m+r+1$ estados distintos. De todos ellos, un estado significa que no hay error y $m+r$ estados indican la existencia de un error en cualquiera de las $m+r$ posiciones.

Por tanto, es necesario descubrir $m+r+1$ estados con r bits; y r bits pueden indicar 2^r estados distintos. Por tanto, 2^r debe ser igual o mayor que $m+r+1$:

$$2^r \geq m+r+1$$

El valor de r se puede determinar despejando el valor de m (la longitud original de la unidad de datos a transmitir). Por ejemplo, si el valor de m es 7 (como en el código ASCII de siete bits), el valor más pequeño de r que puede satisfacer esta ecuación es 4:

$$2^4 \geq 7+4+1$$

La Tabla 9.1 muestra algunos valores posibles de m y sus correspondientes valores r.

Tabla 9.1. *Relación entre bits de datos y de redundancia*

Número de bits de datos (m)	*Número de bits de redundancia (r)*	*Bits totales (m+r)*
1	2	3
2	3	5
3	3	6
4	3	7
5	4	9
6	4	10
7	4	11

Código Hamming

Hasta ahora, hemos examinado el número de bits necesarios para cubrir todos los posibles estados de error de bit de una transmisión. Pero ¿cómo se manipulan estos bits para descubrir en qué estado se ha producido el error? Una técnica desarrollada por R. W. Hamming proporciona una solución práctica.

Posición de los bits de redundancia

El código Hamming se puede aplicar a unidades de datos de cualquier longitud y usa la relación entre bits de datos y bits de redundancia mostrado anteriormente. Por ejemplo, un código ASCII de siete bits necesita cuatro bits de redundancia que se pueden añadir al final de la unidad de datos o intercalar con los bits de datos originales. En la Figura 9.17, estos bits se ponen en las posiciones 1, 2, 4 y 8 (las posiciones en la secuencia de 11 bits que son potencias de 2). Para mayor claridad en los ejemplos que se muestran a continuación, nos referiremos a estos bits como r_1, r_2, r_4 y r_8.

En el código Hamming cada bit r es el bit de VRC para una combinación de bits de datos: r_1 es el bit VRC para una combinación de bits de datos; r_2 es el bit VRC para otra combina-

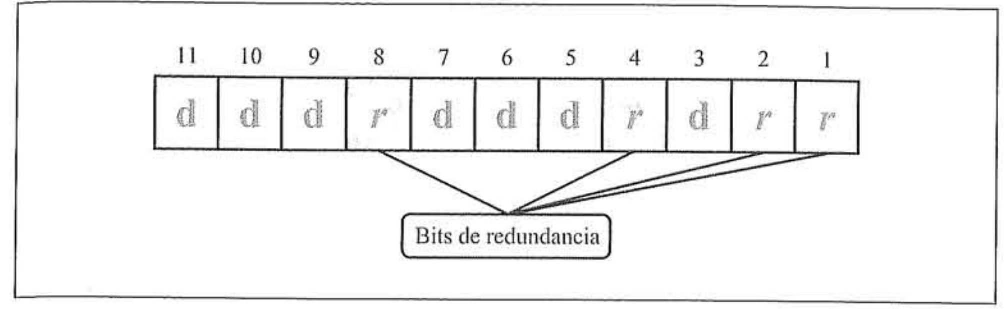


Figura 9.17. *Posiciones de los bits de redundancia en el código Hamming.*

ción de bits de datos, etc. Las combinaciones usadas para calcular cada uno de los cuatro valores de r para una secuencia de datos de siete bits son las siguientes:

r_1: bits 1, 3, 5, 7, 9, 11
r_2: bits 2, 3, 6, 7, 10, 11
r_4: bits 4, 5, 6, 7
r_8: bits 8, 9, 10, 11

Cada bit de datos se puede incluir en más de un cálculo de VRC. Por ejemplo, en las secuencias de arriba, cada uno de los bits de datos originales se incluye en, al menos, dos conjuntos, mientras que los bits r se incluyen solamente en uno.

Para ver el patrón subyacente detrás de esta estrategia, observe la representación binaria de cada posición de bit. El bit que calcula r_1 se calcula usando todas las posiciones de bits cuya representación binaria incluye un 1 más a la derecha. El bit r_2 se calcula usando todas las posiciones de bits con un 1 en la segunda posición, etc. (véase la Figura 9.18).

Cálculo de los valores de r

La Figura 9.19 muestra una implementación de código Hamming para un carácter ASCII. En el primer paso, se sitúa cada bit del carácter original en su posición apropiada dentro de la unidad de 11 bits. En los pasos siguientes, se calculan las paridades pares para las distintas combinaciones de bits. El valor de paridad de cada combinación es el valor del bit r correspondiente. Por ejemplo, el valor de r_1 se calcula para proporcionar paridad par para una combinación de los bits 3, 5, 7, 9 y 11. El valor de r_2 se calcula para proporcionar paridad par con los bits 3, 6, 7, 10 y 11, y así hasta el final. El código final de 11 bits se envía a través de la línea de transmisión.

Detección y corrección de errores

Imagine ahora que cuando se recibe la transmisión, el bit número 7 ha cambiado de 1 a 0 (véase la Figura 9.20).

El receptor toma los datos y recalcula cuatro nuevos VRC usando el mismo conjunto de bits usados por el emisor más el bit de paridad relevante (r) de cada conjunto (véase la Figura 9.21). A continuación reensambla los nuevos valores de paridad en un número binario siguiendo el orden de la posición de r (r_8, r_4, r_2, r_1). En el ejemplo, este paso proporciona el número binario 0111 (7 en decimal), que es la posición precisa del bit con error.

Una vez que se ha identificado el bit, el receptor puede invertir su valor y corregir el error.

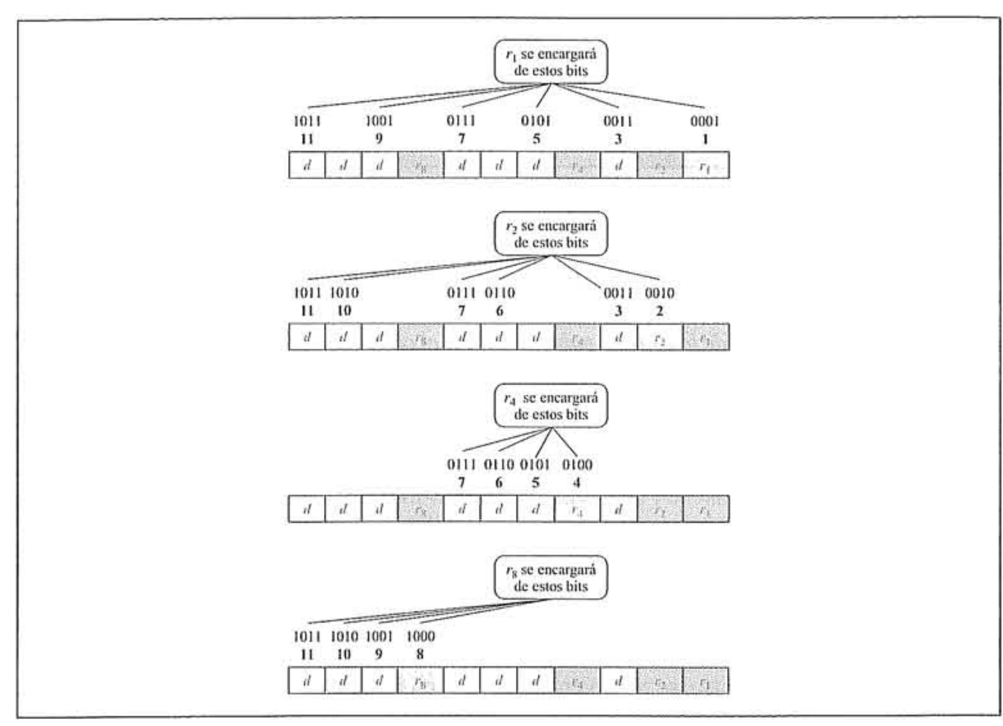


Figura 9.18. *Cálculo de los bits de redundancia.*

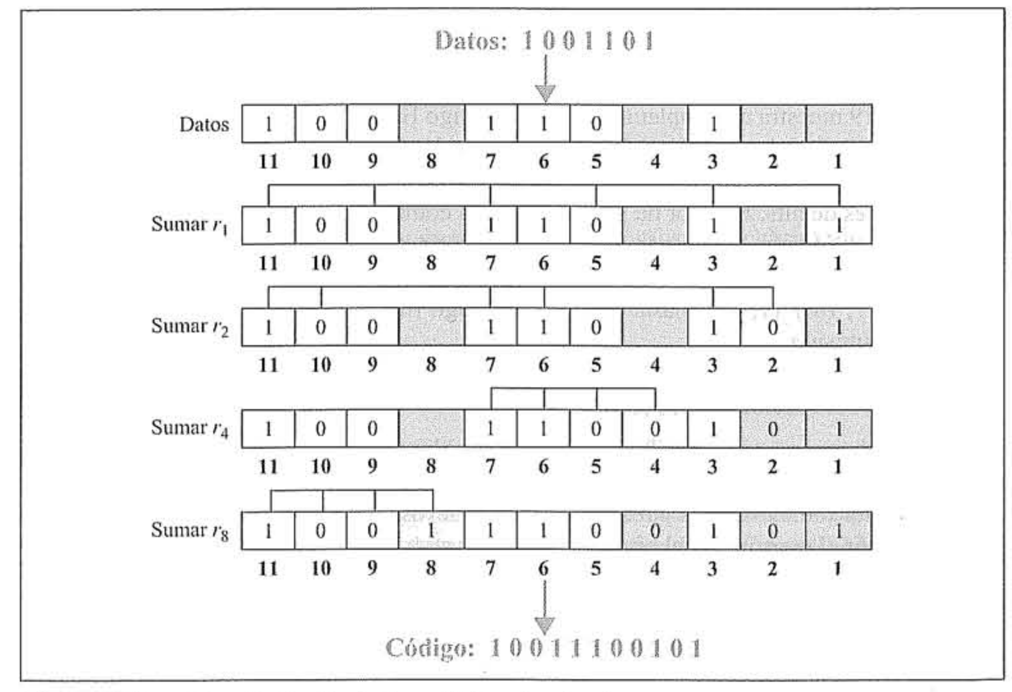


Figura 9.19. *Ejemplo de cálculo de un bit de redundancia.*

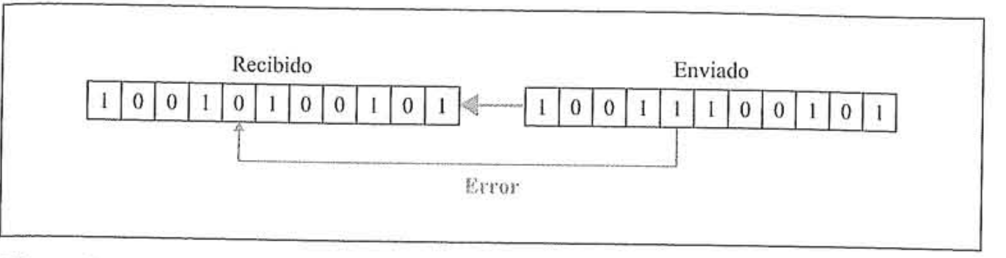


Figura 9.20. *Error de bit.*

Corrección de errores de ráfaga

Se puede diseñar un código Hamming para corregir errores de ráfaga de una cierta longitud. Sin embargo, el número de bits de redundancia necesarios para hacer estas correcciones es dramáticamente mayor que el necesario para los errores en un único bit. Por ejemplo, para corregir errores de dos bits, hay que tener en cuenta que ambos bits pueden estar en cualquier combinación de dos bits de toda la secuencia. La corrección de tres bits significa que cualquier secuencia de tres bits dentro de toda la secuencia puede tener error, etcétera. Por tanto, la sencilla estrategia usada por el código Hamming para corregir errores en un único bit puede ser rediseñada para ser aplicable a la corrección de múltiples bits. Los detalles de estas operaciones más sofisticadas quedan para libros más avanzados sobre **gestión de errores.**

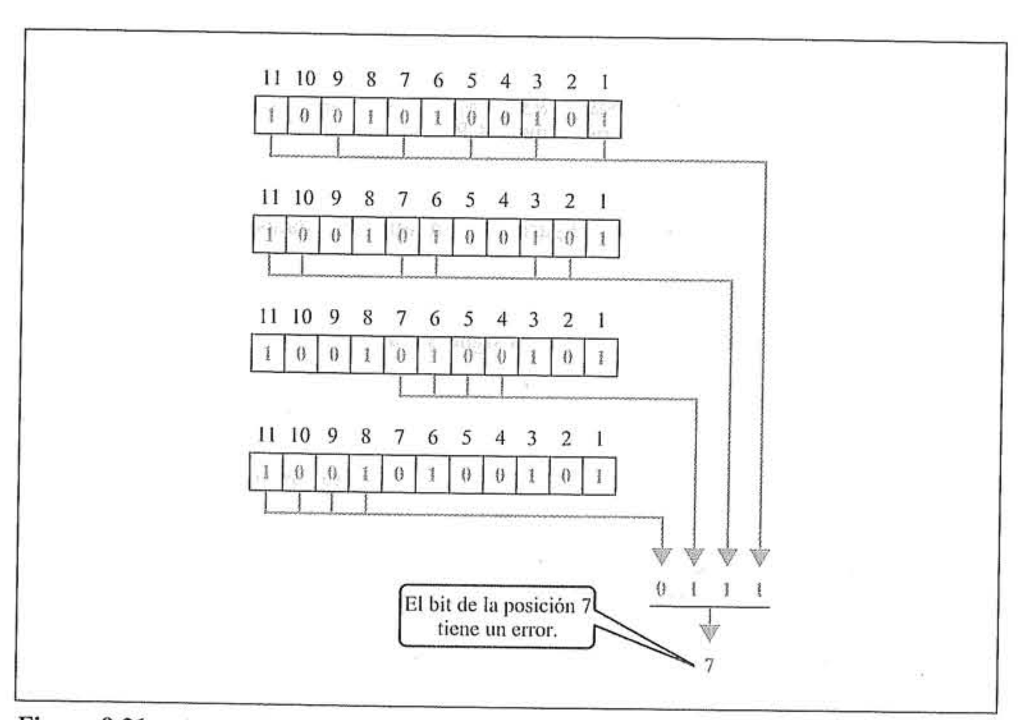


Figura 9.21. *Detección de errores usando código Hamming.*

9.8. TÉRMINOS Y CONCEPTOS CLAVE

bit de paridad
código Hamming
complemento a uno
corrección de errores
detección de errores
error
error de bit
error de ráfaga
gestión de errores
paridad impar
paridad par
redundancia
suma de comprobación
verificación de paridad
verificación de redundancia cíclica (CRC)
verificación de redundancia longitudinal (LRC)
verificación de redundancia vertical (VRC)

9.9. RESUMEN

- Los errores de transmisión se detectan habitualmente en el nivel físico del modelo OSI.
- Los errores de transmisión se corrigen habitualmente en el nivel de enlace de datos del modelo OSI.
- Los errores se pueden clasificar como sigue:
  a. En un único bit: error en un bit por cada unidad de datos.
  b. Ráfaga: dos o más bits erróneos por unidad de datos.
- La redundancia consiste en enviar bits extra para su uso en la detección de errores.
- Los siguientes son cuatro métodos frecuentes de detección de error:
  a. Verificación de redundancia vertical (VRC)
  b. Verificación de redundancia longitudinal (LRC)
  c. Verificación de redundancia cíclica (CRC)
  d. Suma de comprobación
- En VRC se añade un bit extra (bit de paridad) a la unidad de datos.
- VRC puede detectar únicamente un número impar de errores; no puede detectar un número par de errores.
- En LRC, una unidad de datos redundantes sigue a n unidades de datos.
- CRC, la técnica de verificación de redundancia más potente, se basa en la división binaria.
- La suma de comprobación se usa en los protocolos de alto nivel (TCP/IP) para detección de errores.
- Para calcular la suma de comprobación:
  a. Se dividen los datos en secciones.
  b. Se suman las secciones usando aritmética con complemento a uno.
  c. Se hace el complemento de la suma final; esta es la suma de comprobación.
- Cuando se usa el método suma de comprobación, en el receptor los datos y la suma de comprobación deberían sumar cero si no hay errores.
- El código Hamming es un método de corrección de errores en un único bit que usa bits redundantes. El número de bits es función de la longitud de los bits de datos.

- En el código Hamming, para obtener el número de bits redundantes necesarios (r) para una unidad de datos de m bits, se debe usar la fórmula $2^r \geq m + r + 1$.

9.10. MATERIAL PRÁCTICO

Preguntas de revisión

1. ¿En qué se diferencia un error de un único bit de un error de ráfaga?
2. Describa el concepto de redundancia en la detección de errores.
3. ¿Cuáles son los cuatro tipos de comprobaciones de redundancia que se usan en comunicaciones de datos?
4. ¿Cómo puede el bit de paridad detectar una unidad de datos dañada?
5. ¿Cuál es la diferencia entre paridad par y paridad impar?
6. Describa VRC y los tipos de errores que puede y no puede detectar.
7. ¿Cómo se relacionan VRC y LRC?
8. Describa LRC y los tipos de errores que puede y no puede detectar.
9. ¿Qué añade un generador CRC a la unidad de datos?
10. ¿Cuál es la relación entre el tamaño del resto CRC y el divisor?
11. ¿Cómo sabe el comprobador CRC que la unidad de datos recibida no ha sufrido daños?
12. ¿Cuáles son las condiciones para el polinomio a usar en un generador CRC?
13. ¿Por qué es CRC mejor que LRC?
14. ¿Cuál es el método de detección de errores usado por los protocolos de alto nivel?
15. ¿Qué tipo de aritmética se usa para añadir segmentos en un generador de suma de comprobación y un comprobador de suma de comprobación?
16. Enumere los pasos necesarios para crear una suma de comprobación.
17. ¿Cómo sabe un comprobador de suma de comprobación que la unidad recibida no ha sufrido daños?
18. ¿Qué tipo de error no puede ser detectado con una suma de comprobación?
19. ¿Cuál es la fórmula para calcular el número de bits de redundancia necesarios para corregir un bit de error en un número de bits de datos determinado?
20. ¿Cuál es el objetivo del código Hamming?

Preguntas con respuesta múltiple

21. La detección de errores se hace habitualmente en el nivel _____ del modelo OSI.
    a. físico
    b. enlace de datos
    c. red
    d. ninguno de los anteriores
22. ¿Qué método de detección de errores consiste en añadir un bit de paridad a cada unidad de datos así como una unidad completa de datos de bits de paridad?
    a. VRC
    b. LRC
    c. CRC
    d. suma de comprobación
23. ¿Qué método de detección de errores usa la aritmética en complemento a uno?
    a. VRC
    b. LRC

c. CRC
d. suma de comprobación
24. ¿Qué método de detección de errores consiste en añadir un bit redundante a la unidad de datos?
a. VRC
b. LRC
c. CRC
d. suma de comprobación
25. ¿ Qué método de detección de errores usa polinomios?
a. VRC
b. LRC
c. CRC
d. suma de comprobación
26. ¿Cuál de los siguientes describe mejor un error de bit?
a. un único bit se ha invertido
b. un único bit invertido por unidad de datos
c. un único bit invertido por transmisión
d. ninguno de los anteriores
27. Si se ha enviado el carácter ASCII G y se ha recibido el carácter D, ¿qué tipo de error es este?
a. en un único bit
b. en múltiples bit
c. ráfaga
d. recuperable
28. Si se ha enviado el carácter ASCII H y se ha recibido el carácter I, ¿qué tipo de error es este?
a. bit único
b. múltiples bits
c. ráfaga
d. recuperable
29. En la verificación de redundancia cíclica ¿qué es el CRC?
a. el divisor
b. el cociente
c. el dividendo
d. el resto
30. En la verificación de redundancia cíclica el divisor es _____ que el CRC.
a. el mismo tamaño que
b. un bit menos que
c. un bit más que
d. dos bits más que
31. Si la unidad de datos es 111111, el divisor 1010, y el resto 110, ¿cuál es el dividendo en el receptor?
a. 111111011
b. 111111110
c. 1010110
d. 110111111
32. Si la unidad de datos es 111111 y el divisor es 1010, ¿cuál es el dividendo en el transmisor?
a. 111111000
b. 1111110000
c. 111111
d. 1111111010
33. Si se usa paridad impar para la detección de errores en ASCII, el número de ceros por cada símbolo de 8 bits es _____.
a. par
b. impar
c. indeterminado
d. 42
34. La suma de suma de comprobación y datos en el receptor es _____ si no hay errores.
a. −0
b. +0
c. el complemento de la suma de comprobación
d. el complemento de los datos
35. El código Hamming es un método de _____.
a. detección de errores
b. corrección de errores
c. encapsulamiento del errores
d. a y b
36. En CRC no hay error si el resto en el receptor es _____.
a. igual al resto en el emisor
b. cero
c. no cero
d. el cociente en el emisor
37. En CRC el cociente en el emisor _____.
a. se convierte en el dividendo del receptor
b. se convierte en el divisor del receptor
c. se descarta
d. es el resto
38. ¿Qué método de detección de errores usa bit de paridad?
a. VRC
b. LRC
c. CRC
d. a y b
39. ¿Qué método de detección de errores puede detectar un error de bit?
a. VRC
b. LRC
c. CRC
d. todos los anteriores
40. ¿Qué método de detección de errores puede detectar un error de ráfaga?
a. VRC
b. LRC
c. CRC
d. b y c
41. Se quiere calcular el LRC para 10 grupos, cada uno de ellos de 8 bits. ¿Cuántos bits forman el LRC?

a. 10
b. 8
c. 18
d. 80

42. En el generador CRC, se añaden ____ a la unidad de datos antes del proceso de división.
a. ceros
b. unos
c. un polinomio
d. un resto CRC

43. En el generador CRC, se añade _____ a la unidad de datos después del proceso de división.
a. ceros
b. unos
c. un polinomio
d. un resto CRC

44. En el comprobador CRC, _____ significa que la unidad de datos es errónea.
a. una tira de ceros
b. una tira de unos
c. una tira de unos y ceros alternos
d. un resto no cero

Ejercicios

45. ¿Cuál es el efecto máximo de una ráfaga de ruido de 2 ms sobre datos que se transmiten a
a. 1.500 bps?
b. 12.000 bps?
c. 96.000 bps?

46. Asumiendo paridad par, calcule el bit de paridad para cada una de las siguientes unidades de datos:
a. 1001011
b. 0001100
c. 1000000
d. 1110111

47. Un receptor recibe el patrón de datos 01101011. Si el sistema usa VRC con paridad par, ¿tiene el patrón un error?

48. Halle el LRC para el bloque de datos siguiente:
10011001 01101111

49. Dada la secuencia de 10 bits 1010011110, y un divisor de 1011, halle el CRC. Demuestre su respuesta.

50. Dado el resto 111, una unidad de datos de 10110011 y un divisor de 1001, ¿hay un error en la unidad de datos?

51. Halle la suma de comprobación de la siguiente secuencia de bits. Asuma un tamaño de segmento de 16 bits.
1001001110010011
1001100001001101

52. Encuentre el complemento de 1110010001110011

53. Sume 11100011 y 00011100 en complemento a uno. Interprete el resultado.

54. Para cada unidad de datos de los tamaños siguientes, encuentre el número mínimo de bits de redundancia necesarios para corregir un error de bit.
a. 12
b. 16
c. 24
d. 64

55. Construya un código Hamming para la secuencia de bits 10011101.

56. Calcule el VRC y el LRC para el siguiente patrón de bits usando paridad par:
0011101 1100111 1111111 0000000

57. Un emisor envía 01110001; el receptor recibe 01000001. Si solamente se usa VRC, ¿puede el receptor detectar el error?

58. El siguiente bloque usa LRC con paridad par. ¿Qué bit tiene un error?
10010101 01001111 11010000 11011011

59. Un sistema usa LRC sobre un bloque de 8 bytes. ¿Cuántos bits de redundancia se envían por bloque? ¿Cuál es la proporción de bits útiles respecto a los bits totales?

60. Si un divisor es 101101, ¿cuántos bits de longitud tiene su CRC?

61. Halle el equivalente binario de $x^8 + x^3 + x + 1$.

62. Halle el polinomio equivalente de 100001110001.

63. Un receptor recibe el código 11001100111. Cuando se usa el algoritmo de codificación de Hamming, el resultado es 0101. ¿Qué bits tienen error? ¿Cuál es el código correcto?

64. En la corrección de errores en un único bit, un código de tres bits puede estar en cualquiera de los cuatro estados siguientes: no hay error, error en primer bit, error en segundo bit y error en tercer bit. ¿Cuántos de estos tres bits deberían ser redundantes para corregir el código? ¿Cuántos bits pueden tener los datos reales?

65. Usando la lógica del Ejercicio 64, encuentre cuántos bits redundantes debería haber en un código de 10 bits para detectar un error.

66. Se ha recibido el código1111010111. Usando el algoritmo de codificación de Hamming, ¿cuál es el código original que se envió?

CAPÍTULO 10

Control del enlace de datos

Hasta este momento, se ha examinado la estructura y la transmisión de las señales a través de enlaces físicos. Pero a menos que sea recibida exactamente por un segundo dispositivo, una señal transmitida por un cable no es mucho más que electricidad malgastada. Con la transmisión únicamente se puede poner la señal en la línea, pero no hay forma de controlar cuál de los dispositivos conectados a la línea lo recibirá, no hay forma de saber si el receptor supuesto está listo y es capaz de recibir y no hay forma de evitar que un segundo dispositivo transmita al mismo tiempo y destruya por tanto nuestra señal. En el nivel físico del modelo OSI tenemos transmisión, pero todavía no tenemos comunicación.

La comunicación necesita al menos dos dispositivos trabajando juntos, uno para enviar y otro para recibir. Este acuerdo tan sencillo necesita mucha coordinación para que se dé un intercambio de información inteligible. Por ejemplo, en la transmisión semidúplex, es esencial que solamente uno de los dispositivos transmita en un instante dado. Si ambos extremos del enlace ponen señales sobre la línea simultáneamente, hay colisiones, lo que convierte las señales que circulan por la línea en ruido. La coordinación de la transmisión semidúplex es parte de un procedimiento denominado **disciplina de línea,** que es una de las funciones que se incluyen en el segundo nivel del modelo OSI, el nivel de enlace de datos.

Además de la disciplina de línea, las funciones más importantes de nivel de enlace son el **control de flujo** y el **control de errores** (véase la Figura 10.1). Estas funciones son lo que se conoce colectivamente como control del nivel de enlace.

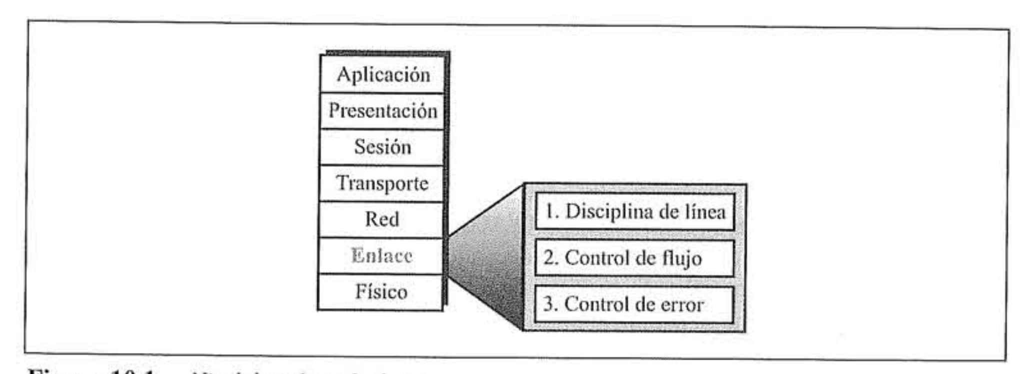


Figura 10.1. *Nivel de enlace de datos.*

Control de enlace de datos

Disciplina de línea — ¿Quién debería enviar ahora?

Control de flujo — ¿Cuántos datos se pueden enviar?

Control de error — ¿Cómo se pueden detectar y corregir los errores?

Figura 10.2. *Funciones del nivel de enlace de datos.*

- La disciplina de línea coordina el sistema de enlaces. Determina qué dispositivo puede enviar y cuándo puede hacerlo.
- El control de flujo coordina la cantidad de datos que se puede enviar antes de recibir un reconocimiento. También proporciona al receptor un reconocimiento de las tramas recibidas intactas y, por tanto, está relacionado con el control de errores.
- El control de errores significa detección y corrección de errores. Permite al receptor informar al emisor de las tramas perdidas o dañadas durante la transmisión y coordina la retransmisión de estas tramas por el emisor (véase la Figura 10.2).

10.1. DISCIPLINA DE LÍNEA

En cualquier sistema, ningún dispositivo debería poder transmitir hasta que tenga evidencia de que su receptor es capaz de recibir y está preparado para aceptar la transmisión. ¿Qué ocurre si el dispositivo de recepción no espera la transmisión, está ocupado o no funciona? Si no hay forma de determinar el estado del receptor, el dispositivo de transmisión puede desperdiciar su tiempo enviando datos a un receptor que no funciona o puede interferir con señales que ya están en el enlace. Las funciones de disciplina de línea del nivel de enlace controlan el establecimiento de los enlaces y el derecho de un dispositivo particular a transmitir en un momento determinado.

> La disciplina de línea responde a la pregunta ¿quién debería enviar ahora?

La disciplina de línea se puede llevar a cabo de dos formas: sondeo/reconocimiento (ENQ/ACK) y sondeo/selección. El primer método se usa en comunicación entre pares; el segundo método se usa en comunicación de tipo primario-secundario (véase la Figura 10.3).

ENQ/ACK

El método de **solicitud/reconocimiento (ENQ/ACK)** se usa principalmente en sistemas donde no hay posibilidad de que un receptor inadecuado reciba la transmisión, es decir, cuando hay un enlace dedicado entre dos dispositivos de forma que el único dispositivo capaz de recibir la transmisión es el que se supone.

ENQ/ACK coordina qué dispositivo puede empezar a transmitir y si el receptor está o no listo y activo (véase la Figura 10.4). Usando ENQ/ACK, cualquier estación de un enlace pue-

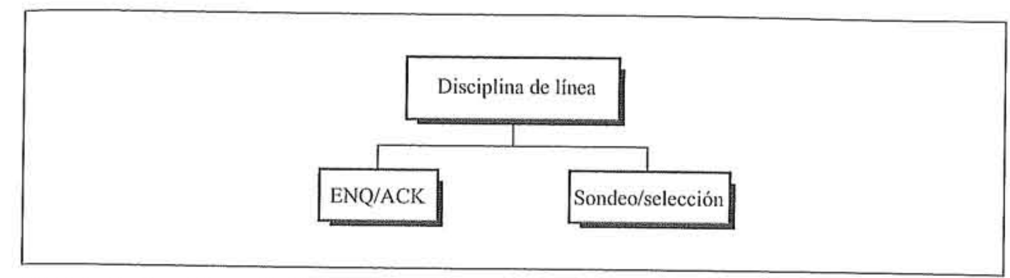


Figura 10.3. *Clases de disciplina de línea.*

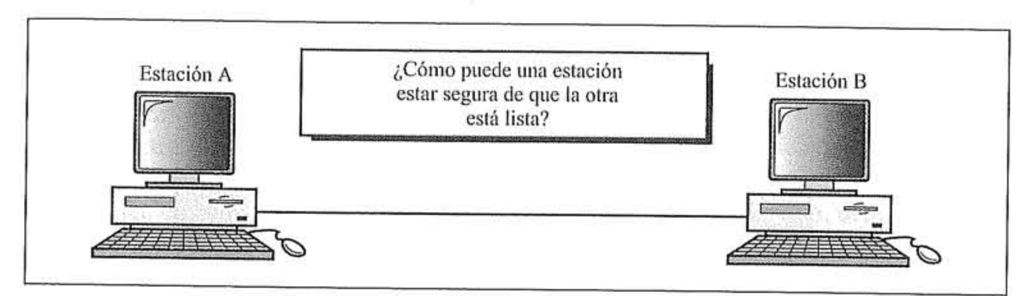


Figura 10.4. *Concepto de disciplina de línea: ENQ/ACK.*

de empezar una sesión siempre que ambas tengan el mismo rango; por ejemplo, una impresora no puede empezar una comunicación con una CPU.

Tanto en la transmisión semidúplex como en la dúplex, el dispositivo que quiere transmitir establece la sesión. En semidúplex, el que inicia la comunicación envía datos mientras que el que responde espera. El que responde puede tomar control de la línea cuando el emisor ha terminado o ha solicitado una respuesta. En dúplex, ambos dispositivos pueden transmitir simultáneamente una vez que se ha establecido la sesión.

Cómo funciona. El que empieza transmite primero una trama denominada un **solicitud (ENQ)** preguntando si el receptor está disponible para recibir datos. El receptor debe responder con una trama de **reconocimiento (ACK)** si está listo para recibir o con una trama de **reconocimiento negativo (NAK)** si no lo está. Solicitando una respuesta, incluso si esta es negativa, el que empieza sabe que su sondeo ha sido recibido aunque el receptor no sea capaz de aceptar la transmisión. Si no se recibe un ACK o un NAK dentro de un límite de tiempo especificado, el que empieza asume que la trama ENQ se ha perdido en la transmisión, desconecta y envía un reemplazo. Un sistema que inicia una conexión suele hacer habitualmente tres intentos como estos para establecer un enlace antes de abandonar.

Si la respuesta a ENQ es negativa para los tres intentos, el equipo se desconecta y reinicia el proceso en otro momento. Si la respuesta es positiva, la conexión está lista para enviar datos. Una vez que el origen de la conexión ha empezado todos sus datos, el sistema emisor termina con una trama de **fin de transmisión (EOT)**. Este proceso se muestra en la Figura 10.5.

Sondeo/selección

El método de disciplina de línea mediante **sondeo/selección** actúa con topologías donde uno de los dispositivos ha sido designado como **estación primaria** y los otros dispositivos son

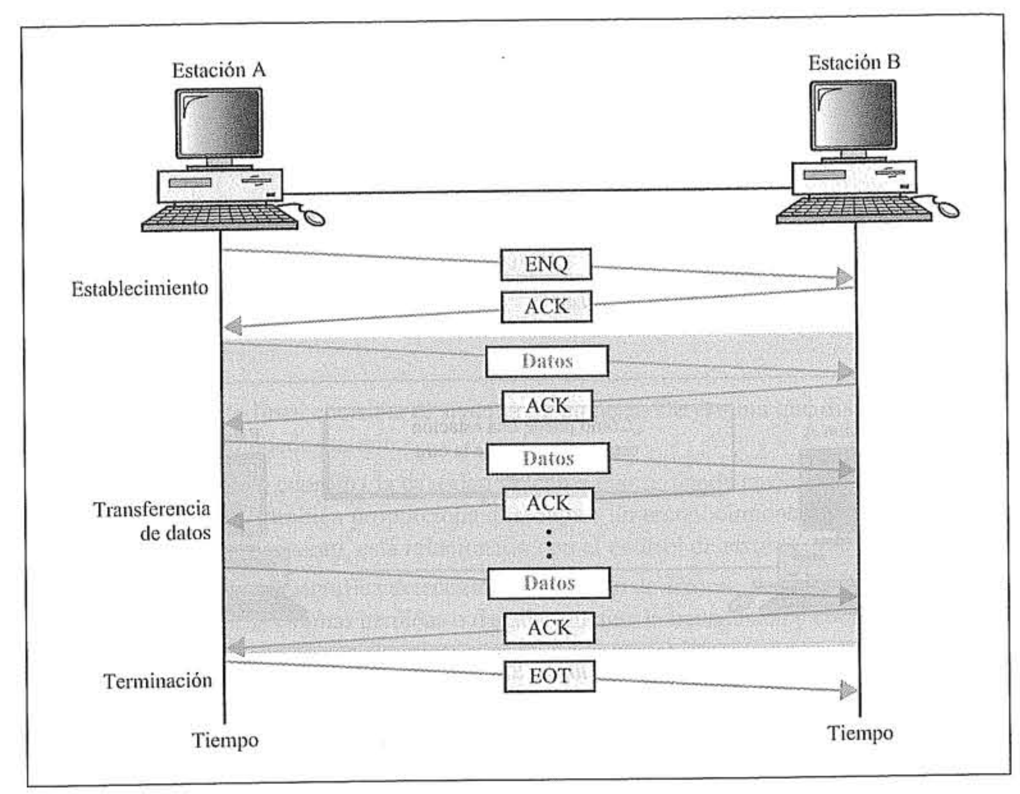


Figura 10.5. *Disciplina de línea ENQ/ACK.*

estaciones secundarias. Los sistemas multipunto deben coordinar varios nodos, no solamente dos. Por tanto, la cuestión a determinar en estos casos es más compleja que únicamente ¿estás listo? También hay que decidir ¿cuál de los nodos tiene derecho a usar el canal?

Cómo funciona. Siempre que un enlace multipunto esté formado por un dispositivo primario y múltiples dispositivos secundarios que usan una única línea de transmisión, todos los intercambios se deben hacer a través del dispositivo primario, incluso aunque el destino último sea un dispositivo secundario. (Aunque las ilustraciones que siguen muestran una topología de bus, los conceptos son los mismos para cualquier configuración multipunto.) El dispositivo primario controla el enlace; los dispositivos secundarios siguen sus instrucciones. El dispositivo primario determina qué dispositivo puede usar el canal en un momento determinado (véase la Figura 10.6). Por tanto, el primario es siempre el que inicia la sesión. Si el primario quiere recibir datos, les pregunta a los secundarios si tienen algo que enviar; esta función se denomina *sondeo.* Si el primario quiere enviar datos, le dice al secundario destino que se prepare para recibir; esta función se llama *selección.*

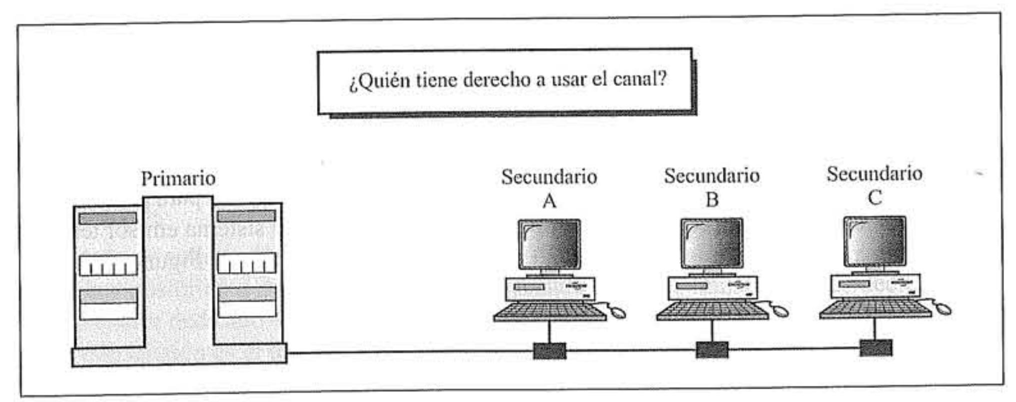


Figura 10.6. *Disciplina de sondeo/selección.*

Direcciones. En las conexiones punto-a-punto no hay necesidad de direcciones; cualquier transmisión por el enlace que haga un dispositivo sólo puede estar dirigida al otro. Sin embargo, para que el dispositivo primario en una topología multipunto sea capaz de identificar a un dispositivo secundario específico y de comunicarse con él, debe haber una convención de direcciones. Por esta razón, cada dispositivo en el enlace tiene una dirección, que se usa para su identificación.

Los protocolos de sondeo/selección identifican cada trama según sea para, o venga de, un dispositivo específico en el enlace. Cada dispositivo secundario tiene una dirección que le diferencia de los otros. En cualquier transmisión, esta dirección aparecerá en una parte específica de cada trama, denominada campo de dirección o cabecera, dependiendo del protocolo. Si la transmisión proviene del dispositivo primario, la dirección indica al receptor del dato. Si la transmisión viene de un dispositivo secundario, la dirección indica el origen del dato. Los aspectos de direccionamiento se tratarán en el Capítulo 12 cuando se hable de cada protocolo específico.

Selección. El modo **selección** se usa siempre que el dispositivo primario tenga algo que enviar. Recuerde que el primario controla el enlace. Si el primario no está enviando o recibiendo datos, sabe que el enlace está disponible. Si tiene algo que enviar, lo envía. Sin embargo, lo que no sabe es si el dispositivo destino está preparado para recibir (habitualmente, *preparado para recibir* significa *encendido*). Por tanto, el primario debe alertar al secundario de que va a hacer una transmisión y esperar hasta que el secundario le indique que está listo para recibir. Antes de enviar los datos, el primario transmite una trama de selección (SEL), uno de cuyos campos incluye la dirección del secundario destino. Las topologías multipunto usan un único enlace para conectar varios dispositivos, lo que significa que cualquier trama del enlace está disponible para todos los dispositivos. A medida que una trama viaja por el enlace, cada uno de los dispositivos secundarios comprueba el campo dirección. Un dispositivo solamente abre la trama y lee los datos cuando reconoce su propia dirección. En el caso de una trama SEL, los datos adjuntos son una alerta que avisa de que se van a enviar datos.

Si el secundario está despierto y funcionando, devuelve una trama ACK al primario. En ese momento, el primario puede enviar una o varias tramas de datos, cada una con la dirección específica del secundario. La Figura 10.7 muestra este procedimiento.

Sondeo. La función de sondeo se usa en el dispositivo primario para solicitar las transmisiones de los dispositivos secundarios. Como se ha indicado anteriormente, los secundarios no pueden transmitir datos a menos que se les solicite (no nos llame, nosotros lo haremos). Manteniendo todo el control en el primario, el sistema multipunto garantiza que únicamente puede haber una transmisión cada vez, asegurando de esta forma la inexistencia de colisión de señales sin requerir protocolos de precedencia muy elaborados. Cuando el primario está listo para recibir datos, debe preguntar (**muestrear**) por orden a cada dispositivo si tiene algo que enviar. Cuando se pregunta al primer secundario, responde con una trama NAK si no tiene nada que enviar o con datos (en forma de trama de datos) si tiene algo que enviar.

Figura 10.7. *Selección.*

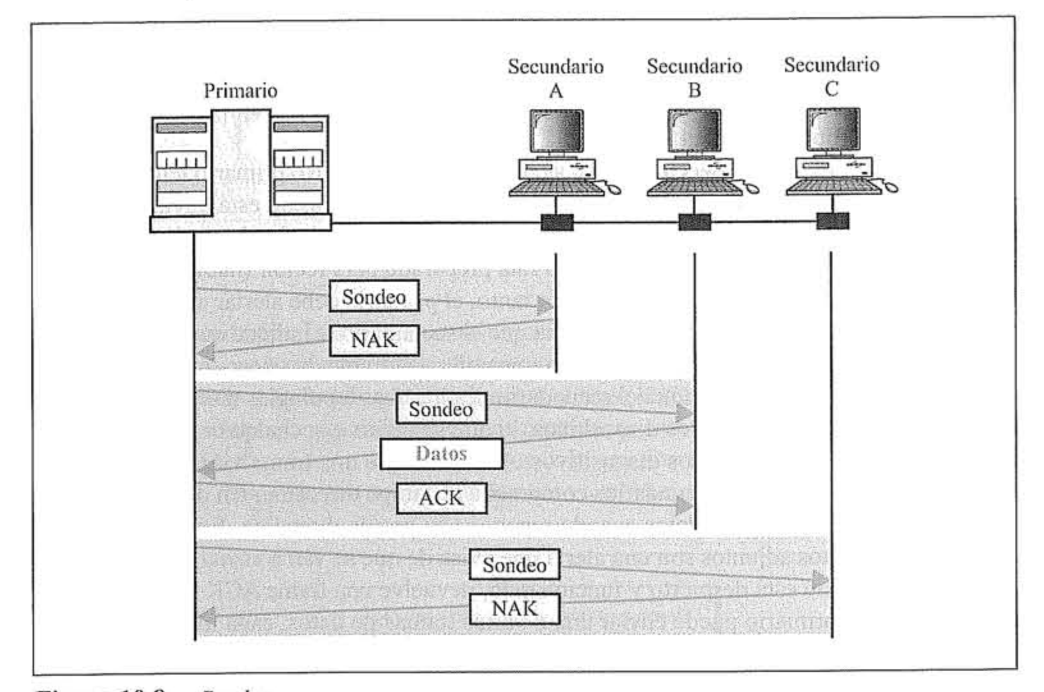


Figura 10.8. *Sondeo.*

Si la respuesta es negativa (trama NAK), el primario le pregunta al siguiente secundario de la misma forma hasta que encuentra uno que tenga datos que enviar. Cuando la respuesta es positiva (una trama de datos), el primario lee la trama y devuelve un reconocimiento (trama ACK) verificando su recepción. El secundario puede enviar varias tramas de datos seguidas o se le puede indicar que espera un ACK antes de enviar la trama, dependiendo del protocolo utilizado.

Hay dos posibilidades para terminar el intercambio: que el secundario haya enviado todos sus datos, terminando con una trama de fin de transmisión (EOT), o que el primario indique que «el tiempo ha terminado». La ocurrencia de uno u otro evento depende del protocolo y de la longitud del mensaje. Una vez que el secundario ha terminado de transmitir, el primario puede muestrear a los restantes dispositivos (véase la Figura 10.8).

10.2. CONTROL DE FLUJO

El segundo aspecto del control del enlace de datos es el control de flujo. En la mayoría de los protocolos, el control de flujo es un conjunto de procedimientos que le dice al emisor cuántos datos puede transmitir antes de esperar un reconocimiento del receptor. No se debe permitir que el flujo de datos desborde al receptor. Cualquier dispositivo de recepción tiene una velocidad limitada para procesar los datos que recibe y una cantidad limitada de memoria en la que almacenar dichos datos. El dispositivo receptor debe ser capaz de informar al dispositivo emisor antes de que estos límites se alcancen y de pedir al dispositivo transmisor que envíe menos tramas o que pare temporalmente. Los datos recibidos deben ser procesados y comprobados antes de poderse usar. La velocidad de este procesamiento suele ser más lenta que la velocidad de transmisión. Por esta razón, cada dispositivo receptor tiene un bloque de memoria, denominado **buffer,** reservado para almacenar los datos recibidos hasta que puede procesarlos. Si el buffer comienza a llenarse, el receptor debe ser capaz de decirle al emisor que pare la transmisión hasta que vuelva a ser capaz de recibir.

> El control de flujo define un conjunto de procedimientos usados para restringir la cantidad de datos que el emisor puede enviar antes de esperar un reconocimiento.

Se han desarrollado dos métodos para controlar el flujo de datos a través de enlaces de líneas de comunicación: parada y espera y ventana deslizante (véase la Figura 10.9).

Parada y espera

En el método de control de flujo con **parada y espera** (*stop and wait*), el emisor espera un reconocimiento después de cada trama que envía (véase la Figura 10.10). Solamente se envía la siguiente trama cuando se ha recibido un reconocimiento. Este proceso de enviar y recibir alternativamente se repite hasta que el emisor envía una trama de fin de transmisión

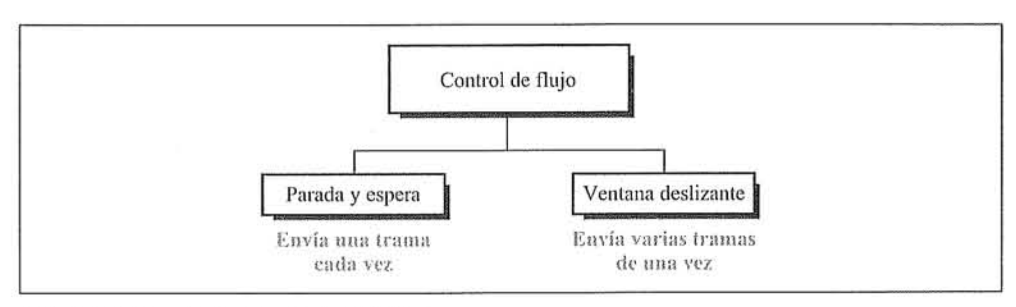


Figura 10.9. *Clases de control de flujo.*

(EOT). La parada y espera se puede comparar con un ejecutivo meticuloso dictando algo: dice una palabra, su asistente dice «OK», dice otra palabra, su asistente dice «OK», y así hasta el final.

> En el método de control de flujo con parada y espera, el emisor envía una trama y espera un reconocimiento antes de enviar la trama siguiente.

La ventaja de la parada y espera es su sencillez: cada trama es comprobada y reconocida antes de que se envíe la siguiente. La desventaja es su ineficiencia: la parada y espera es muy lenta. Cada trama debe recorrer el camino hasta el receptor y un reconocimiento debe viajar del receptor al emisor antes de poder enviar éste la trama siguiente. En otras palabras, cada trama está sola en la línea. Cada trama enviada y recibida usa todo el tiempo necesario para atravesar el enlace. Si la distancia entre los dispositivos es larga, el tiempo que se gasta esperando ACK entre cada trama puede ser una parte importante del tiempo total de transmisión.

Ventana deslizante

En el método de control de flujo con **ventana deslizante,** el emisor puede transmitir varias tramas antes de necesitar un reconocimiento. Las tramas se pueden enviar una detrás de otra, lo que significa que el enlace puede transportar varias tramas de una vez y que su capacidad se puede usar de forma más eficiente.

El receptor notifica el reconocimiento únicamente para algunas de las tramas, usando un único ACK para confirmar la recepción de múltiples tramas de datos.

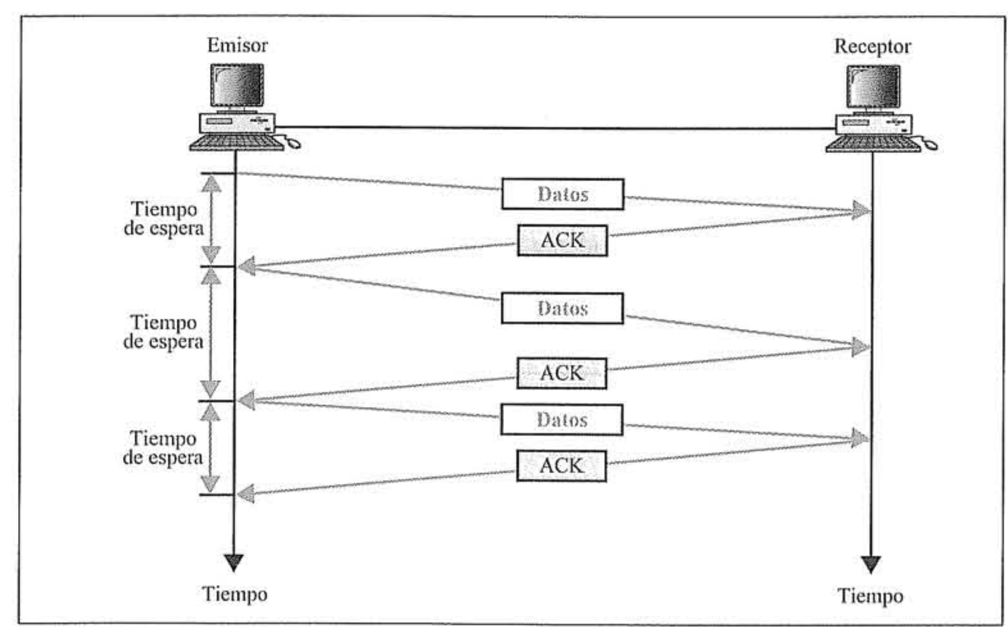


Figura 10.10. *Parada y espera.*

> Con el método de control de flujo con ventana deslizante, puede haber varias tramas en tránsito al mismo tiempo.

La *ventana deslizante* usa unas cajas imaginarias en el emisor y el receptor. Esta ventana puede mantener tramas en cualquiera de los dos extremos y proporciona un límite superior en el número de tramas que se pueden transmitir antes de recibir un reconocimiento. Las tramas pueden ser reconocidas en cualquier momento sin esperar hasta que la ventana se llene y pueden ser transmitidas mientras que la ventana no esté todavía llena. Para saber qué tramas se han transmitido y cuáles se han recibido, la ventana deslizante introduce un esquema de identificación basado en el tamaño de la ventana. Las tramas se enumeran en módulo-n, lo que significan que se enumeran de 0 a n-1. Por ejemplo, si $n = 8$, las tramas se enumeran 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 0, 1, ... El tamaño de la ventana es n-1 (en este caso, 7). En otras palabras, la ventana no puede cubrir el módulo completo (8 tramas); cubre una trama menos. La razón de esto se mostrará al final de la sección.

Cuando el receptor envía un ACK, incluye el número de la trama que espera recibir a continuación. En otras palabras, para reconocer la recepción de una tira de tramas cuyo final es la trama 4, el receptor envía un ACK conteniendo el número 5. Cuando el emisor ve un ACK con el número 5, sabe que todas las tramas hasta el número 5 se han recibido.

La ventana puede mantener n-1 tramas en cualquier extremo; por tanto, se pueden enviar el máximo de n-1 tramas antes de necesitar un reconocimiento. La Figura 10.11 muestra la relación entre una ventana y el buffer principal.

Ventana del emisor

Al principio de la transmisión, la ventana del emisor contiene n-1 tramas. A medida que se envían las tramas, el límite izquierdo de la ventana se mueve hacia dentro, reduciendo el tamaño de la misma. Dada una ventana de tamaño w, si se han transmitido tres tramas desde el último reconocimiento, el número de tramas que quedan en la ventana es w-3. Una vez que llega un ACK, la ventana se extiende para permitir entrar un número de tramas igual al número de tramas reconocidas por el ACK. La Figura 10.12 muestra una ventana deslizante del emisor con tamaño 7.

Dado un tamaño de ventana 7, como se muestra en la Figura 10.12, si se han enviado las tramas 0 a la 4 y no se ha recibido un reconocimiento, la ventana del emisor contiene dos tramas (números 5 y 6). Si se recibe un ACK con el número 4, se sabe que 4 tramas (las del 0 hasta el 3) se han recibido sin problemas y la ventana del emisor se extiende para incluir a las cuatro tramas siguientes del buffer. En este momento, la ventana del emisor contiene 6 tramas (número 5, 6, 7, 0, 1, 2). Si el ACK recibido tiene el número 2, la ventana del emisor se habría expandido únicamente con dos tramas, para contener un total de cuatro.

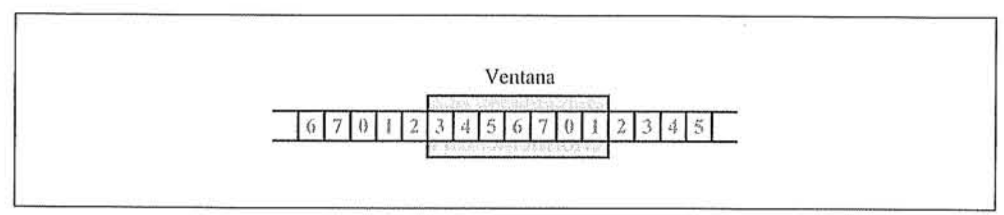


Figura 10.11. *Ventana deslizante.*

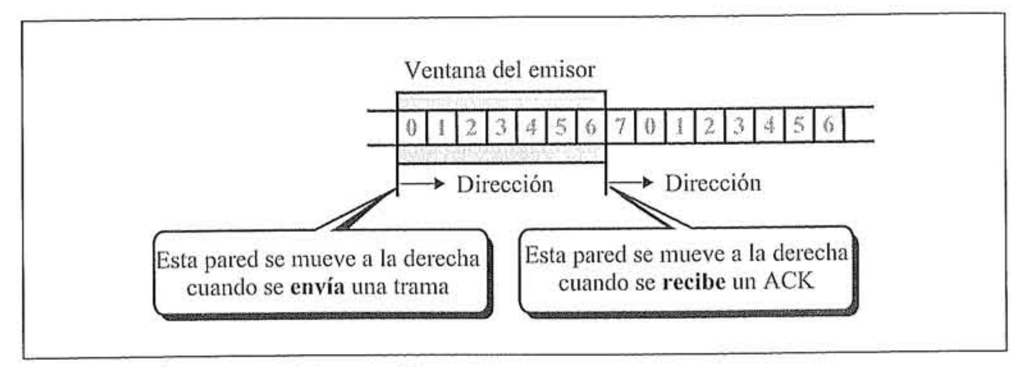


Figura 10.12. *Ventana deslizante del emisor.*

Conceptualmente, la ventana deslizante del emisor se encoge desde la izquierda cuando las tramas de datos se envían. La ventana deslizante del emisor se expande a la derecha cuando se reciben los reconocimientos.

Ventana del receptor

Al principio de la transmisión, la ventana del receptor no contiene n-1 tramas sino n-1 espacios para tramas. A medida que llegan nuevas tramas, el tamaño de la ventana del receptor se encoge. Por tanto, la ventana del receptor no representa el número de tramas recibidas sino el número de tramas que todavía se pueden recibir antes de enviar un ACK. Dada una ventana de tamaño w, si se han recibido tres tramas sin devolver un ACK, el número de espacios en la ventana es w-3. En cuanto se envíe un reconocimiento, el tamaño de la ventana se expande para incluir lugares para los números de tramas iguales a los números de tramas reconocidos. La Figura 10.13 muestra una ventana del receptor de tamaño 7. En la figura, la ventana contiene espacios para siete tramas, indicando que se pueden recibir siete tramas antes de enviar un ACK. Con la llegada de la primera trama, la ventana del receptor se encoge, moviendo su frontera del espacio 0 al 1. La ventana se ha encogido uno, por lo que el receptor puede todavía aceptar seis tramas antes de que tenga que enviar un ACK. Si han llegado tramas de la 0 a la 3 pero no se han reconocido, la ventana contendrá tres espacios para tramas.

Conceptualmente, la ventana deslizante del receptor se encoge desde la izquierda cuando se reciben tramas de datos. La ventana deslizante del receptor se expande a la derecha cuando se envían los reconocimientos.

A medida que se envían los ACK, la ventana del receptor se expande para incluir tantos espacios nuevos como tramas reconocidas. La ventana se expande para incluir un número de espacios nuevos para tramas igual al número de la trama reconocida más recientemente menos el número de la trama reconocida anteriormente. En una ventana con siete tramas, si el ACK previo fue para la trama 2 y el ACK actual es para la trama 5, la ventana se expande 3 (5 – 2). Si el ACK previo fue para la trama 3 y el ACK actual es para la trama 1, la ventana se expande 6 (1 + 8 – 3).

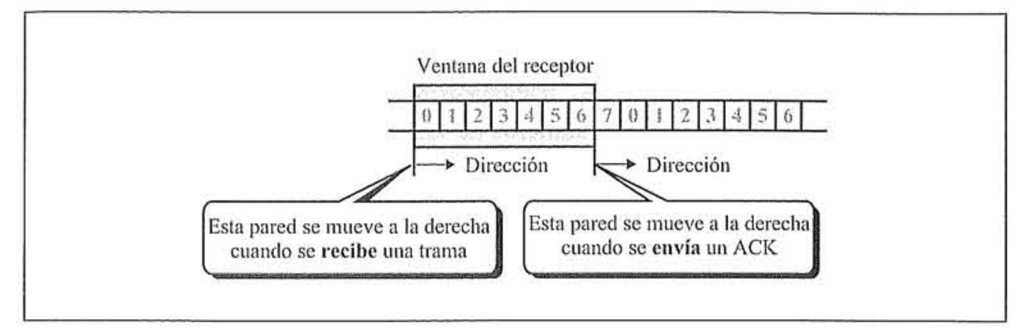


Figura 10.13. *Ventana deslizante del receptor.*

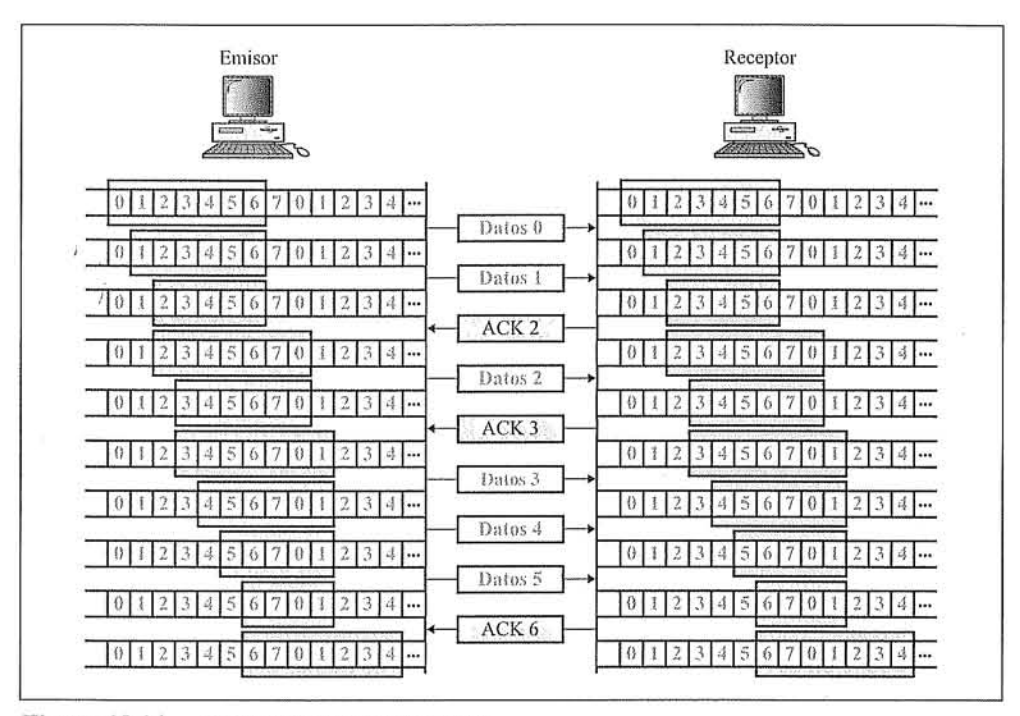


Figura 10.14. *Ejemplo de ventana deslizante.*

Un ejemplo

La Figura 10.14 muestra un ejemplo de transmisión que usa control de flujo con una ventana deslizante de siete tramas. En este ejemplo, todas las tramas llegan correctamente. Como se verá en la sección siguiente, si hay errores en las tramas recibidas, o si una o más tramas se pierden en la transmisión, el proceso sería más complejo.

Al principio de la transmisión, tanto la ventana del emisor como la del receptor están completamente expandidas y pueden incluir siete tramas (siete tramas transmisibles en la ventana del emisor, siete espacios para tramas en la ventana del receptor). Las tramas dentro de las ventanas se numeran de 0 a 7 y son parte de un buffer de datos mayor, del que se muestran trece tramas en el ejemplo.

Más sobre el tamaño de la ventana

En el método de control de flujo de ventana deslizante, el tamaño de la ventana es uno menos que el rango del módulo, por lo que no hay ambigüedad en el reconocimiento de las tramas recibidas. Asuma que los números de secuencia de trama son módulo 8 y el tamaño de la ventana es también 8. Imagine ahora que se envía la trama 0 y se recibe un ACK 1. El emisor expande su ventana y envía las tramas 1,2,3,4,5,6,7 y 0. Si recibe de nuevo un ACK 1, no está seguro de si es un duplicado del ACK anterior (duplicado por la red) o un ACK 1 nuevo que confirma la recepción de las ocho tramas enviadas recientemente. Pero si el tamaño de la ventana es 7 (en lugar de 8), este escenario no puede suceder.

10.3. CONTROL DE ERRORES

En el nivel de enlace de datos, el término control de errores se refiere principalmente a los métodos de detección de error y retransmisión.

Petición de repetición automática (ARQ, *Automatic Repeat Request*)

La corrección de errores en el nivel de enlace de datos se implementa de forma sencilla: cada vez que se detecta un error en un intercambio, se devuelve un reconocimiento negativo (NAK) y se retransmiten las tramas especificadas. Este proceso se denomina **petición de repetición automática (ARQ).**

> El control de errores en el nivel de enlace de datos se basa en la petición de repetición automática (ARQ), que implica la retransmisión de datos en tres casos: tramas dañadas, tramas perdidas y reconocimiento perdido.

A veces ocurre que una trama está tan dañada por el ruido de la transmisión que el receptor no la reconoce como una trama. En estos casos, ARQ permite decir que la trama se ha perdido. Otra función de ARQ es la retransmisión automática de tramas perdidas, incluyendo tramas ACK y NAK perdidas (para las que la pérdida es detectada por el emisor en lugar de por el receptor).

El control de errores con ARQ se implementa en el nivel de enlace de datos como parte del control de flujo. De hecho, el control de flujo con parada y espera se implementa habitualmente con parada y espera con ARQ y la ventana deslizante se implementa habitualmente mediante una de las dos variantes de la ventana deslizante con ARQ, denominadas vuelta atrás *n* o rechazo selectivo (véase la Figura 10.15).

Parada y espera con ARQ

La **parada y espera con ARQ** es una forma de control de flujo con parada y espera extendida para incluir la retransmisión de los datos en caso de que haya tramas perdidas o dañadas. Para que la retransmisión funcione, se han añadido cuatro características al mecanismo básico de control de flujo:

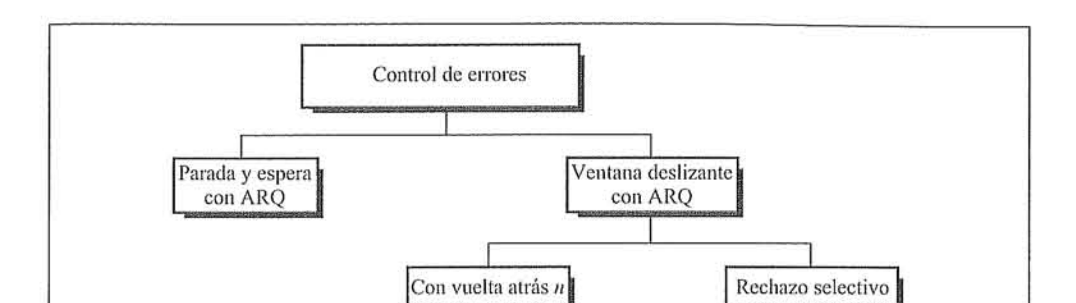


Figura 10.15. *Clases de control de error.*

- El dispositivo emisor mantiene una copia de la última trama transmitida hasta que recibe un reconocimiento para la trama. Mantener una copia permite al emisor retransmitir las tramas perdidas o dañadas hasta que son recibidas correctamente.
- Para poder identificarlas, tanto las tramas de datos como las tramas ACK se numeran alternativamente a 0 y 1. Una trama de datos 0 es reconocida por una trama ACK 1, lo que indica que el receptor ha recibido la trama 0 y está esperando la trama de datos 1. Esta numeración permite la identificación de las tramas de datos en caso de que haya una transmisión duplicada (importante en el caso de reconocimientos perdidos, como se verá más adelante).
- Si se descubre un error en una trama de datos, lo que indica que ha sido dañada durante la transmisión, se devuelve una trama NAK. Las tramas NAK, que no están numeradas, le dicen al emisor que retransmita la última trama enviada. La parada y espera con ARQ necesita que el emisor espere hasta que reciba un reconocimiento para la última trama transmitida antes de transmitir la siguiente. Cuando el dispositivo emisor recibe un NAK, reenvía la trama transmitida después del último reconocimiento, independientemente de su número.
- El dispositivo emisor está equipado con un temporizador. Si el reconocimiento esperado no se recibe dentro del periodo de tiempo permitido, el emisor asume que la última trama de datos se perdió en el tránsito y la envía de nuevo.

Tramas dañadas

Cuando el receptor descubre que una trama contiene un error, devuelve una trama NAK y el emisor retransmite la última trama. Por ejemplo, en la Figura 10.16, el emisor transmite una trama de datos: datos 0. El receptor devuelve un ACK 1, indicando que datos 0 llegó correctamente y que está esperando la trama de datos 1. El emisor transmite la siguiente trama: datos 1. Esta trama llega correctamente y el receptor devuelve ACK 0. El emisor transmite su siguiente trama: datos 0. El receptor descubre un error en datos 0 y devuelve un NAK. El emisor retransmite datos 0. Esta vez datos 0 llega correctamente y el receptor devuelve ACK 1.

Trama perdida

Cualquiera de los tres tipos de tramas se puede perder en la transmisión.

Trama de datos perdida. La Figura 10.17 muestra cómo gestiona la parada y espera con ARQ la pérdida de una trama de datos. Como se dijo anteriormente, el emisor está equi-

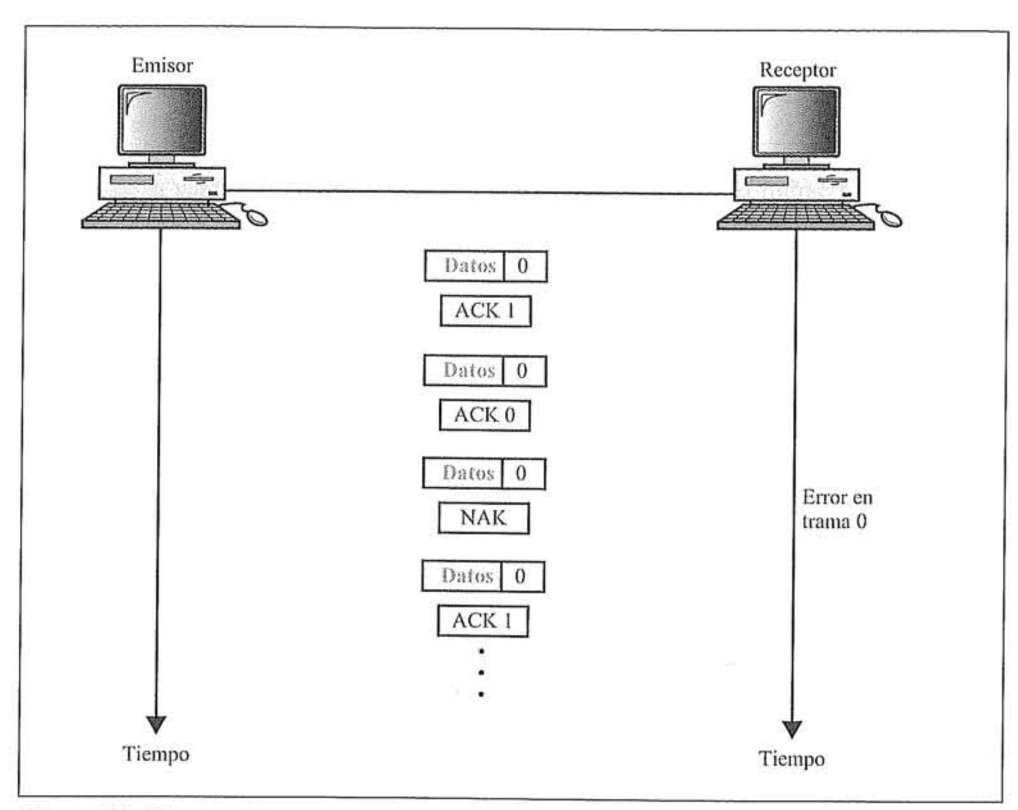


Figura 10.16. *Parada y espera con ARQ trama dañada.*

pado con un temporizador que se inicia cada vez que se transmite una trama de datos. Si la trama nunca llega al receptor, el receptor no puede reconocerla, ni positiva ni negativamente. El dispositivo emisor espera por una trama ACK o NAK hasta que su temporizador vence, momento en que la retransmite de nuevo. Retransmite la última trama de datos, reinicia su temporizador y espera el reconocimiento.

Reconocimiento perdido. En este caso, la trama de datos ha llegado al receptor y éste ha visto que es aceptable o no. Pero la trama ACK o NAK devuelta por el receptor se pierde durante la transmisión. El dispositivo emisor espera hasta que su temporizador vence y entonces retransmite la trama de datos. El receptor comprueba el número de trama de datos. Si la trama perdida fue un NAK, el receptor acepta la copia nueva y devuelve el ACK apropiado (asumiendo que la copia llega correctamente). Si la trama perdida fue un ACK, el receptor reconoce la nueva copia como un duplicado, reconoce su recepción, la descarta y espera la trama siguiente (véase la Figura 10.18).

Ventana deslizante con ARQ

Entre los distintos mecanismos populares para control de errores en transmisión continua, dos protocolos son los más populares: vuelta atrás *n* con ARQ y rechazo selectivo con ARQ, ambos basados en el control de flujo con ventana deslizante. Para extender la ventana deslizante de forma que cubra la retransmisión de las tramas perdidas o dañadas, se añaden tres características a los mecanismos básicos de control de flujo:

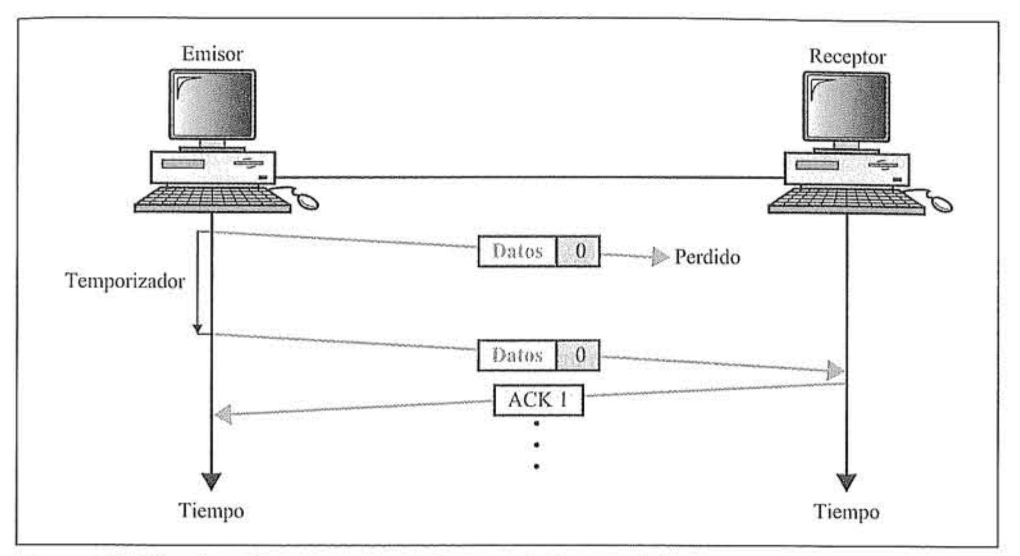


Figura 10.17. *Parada y espera con ARQ, trama de datos perdida.*

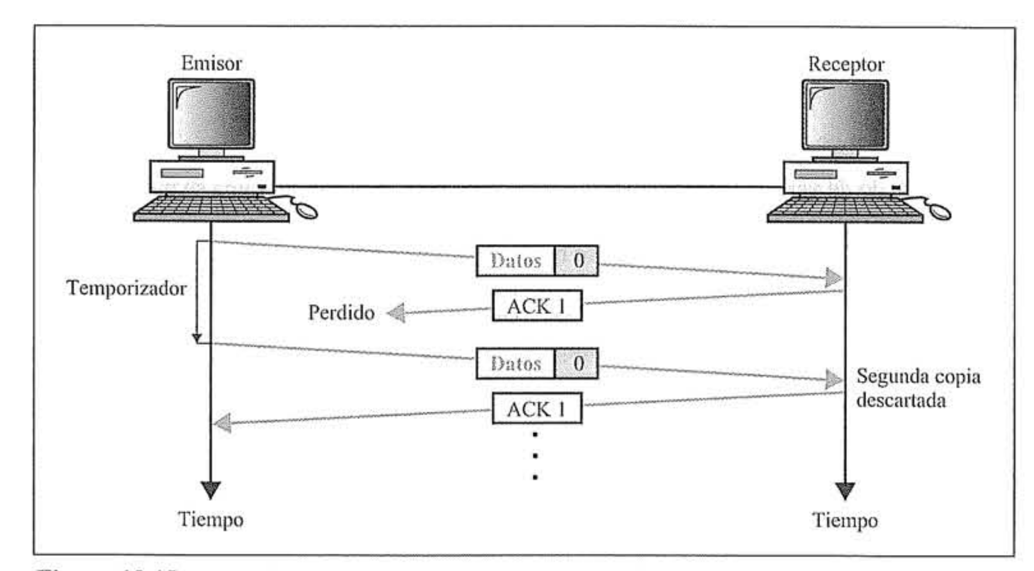


Figura 10.18. *Parada y espera con ARQ, trama ACK perdida.*

- El dispositivo emisor mantiene copias de todas las tramas transmitidas hasta que sean reconocidas. Si se han transmitido las tramas 0 a 6 y la última reconocida fue la trama 2 (en espera de la 3), el emisor mantiene copias de las tramas 3 a 6 hasta que sepa que se han recibido correctamente.
- Además de las tramas ACK, el receptor tiene la opción de devolver una trama NAK si los datos se han recibido con errores. La trama NAK le dice al emisor que retransmita una trama dañada. Debido a que la ventana deslizante es un mecanismo de transmisión continua (al contrario que para la parada y espera), tanto las tramas ACK como las NAK deben

estar numeradas para su identificación. Como recordará, las tramas ACK llevan el número de la siguiente trama que se espera. Por el contrario, las tramas NAK llevan el número de la trama dañada. En ambos casos, el mensaje al emisor es el número de trama que el receptor espera a continuación. Observe que las tramas de datos recibidas sin errores no deben ser reconocidas individualmente. Si el último ACK tenía el número 3, un ACK 6 reconoce la recepción de las tramas 3, 4 y 5. Sin embargo, cada trama errónea debe ser reconocida. Si las tramas de datos 4 y 5 se reciben con errores, hay que enviar un NAK 4 y un NAK 5. Sin embargo, un NAK 4 le dice al emisor que todas las tramas recibidas antes de 4 han llegado correctamente.

- Al igual que en la parada y espera con ARQ, el dispositivo emisor en la **ventana deslizante con ARQ** está equipado con un temporizador que le permite manejar la pérdida de reconocimientos. En la ventana deslizante con ARQ, se pueden enviar $n - 1$ tramas (el tamaño de la ventana) antes de recibir un reconocimiento. Si hay $n - 1$ tramas esperando su reconocimiento, el emisor inicia un temporizador y espera antes de enviar más. Si el tiempo establecido se agota sin reconocimiento, el emisor asume que las tramas no han sido recibidas y retransmite una o todas las tramas dependiendo del protocolo. Observe que, como ocurre con la parada y espera con ARQ, el emisor no tiene forma de saber si las tramas perdidas fueron ACK o NAK. Por tanto, con la retransmisión de las tramas de datos se cubren dos posibilidades: datos perdidos y NAK perdidos. Si la trama perdida fue un ACK, el receptor puede reconocer la redundancia a través de los números de trama y descartar los datos redundantes.

Vuelta atrás *n* con ARQ

Con el método de ventana deslizante **vuelta atrás *n* con ARQ**, si una trama se pierde o tiene errores, se retransmiten todas las tramas desde la última reconocida.

Trama dañada. ¿Qué ocurre si se han enviado las tramas 0, 1, 2 y 3, pero el primer reconocimiento recibido es un NAK 3? Recuerde que un NAK significa dos cosas: (1) un reconocimiento positivo de todas las tramas recibidas antes de la dañada y (2) un reconocimiento negativo de la trama indicada. Que el primer reconocimiento es un NAK 3, significa que las tramas de datos 0, 1 y 2 se recibieron correctamente. Solamente es necesario reenviar la trama 3.

¿Qué ocurre si se han enviado las tramas 0 a 4 antes de recibir un NAK de la trama 2? Tan pronto como el receptor descubra un error, deja de aceptar las tramas siguientes hasta que la trama dañada ha sido correctamente recibida. En el escenario anterior, datos 2 llega dañado y se descarta, al igual que se hace con datos 3 y datos 4 con independencia de que hayan llegado correctamente. Datos 0 y datos 1, que se recibieron antes de la trama dañada, ya se han aceptado, hecho que se indica al emisor enviándole la trama NAK 2. Por tanto, la retransmisión consiste en enviar las tramas 2, 3 y 4.

La Figura 10.19 muestra un ejemplo en el cual se han transmitido seis tramas antes de descubrir un error en la trama 3. En este caso, se devuelve un ACK 3, indicando al emisor que las tramas 0, 1 y 2 han sido aceptadas. En la figura, el ACK 3 se envía antes de que datos 3 haya llegado. A continuación se descubre que datos 3 tiene errores, por lo que se envía inmediatamente un NAK 3 y las tramas 4 y 5 se descartan a medida que llegan. El dispositivo emisor retransmite las tres tramas (3, 4 y 5) enviadas desde el último reconocimiento y continúa el proceso. El receptor descarta las tramas 4 y 5 (así como cualquier otra trama que llegue a continuación) hasta que recibe datos correctos para 3.

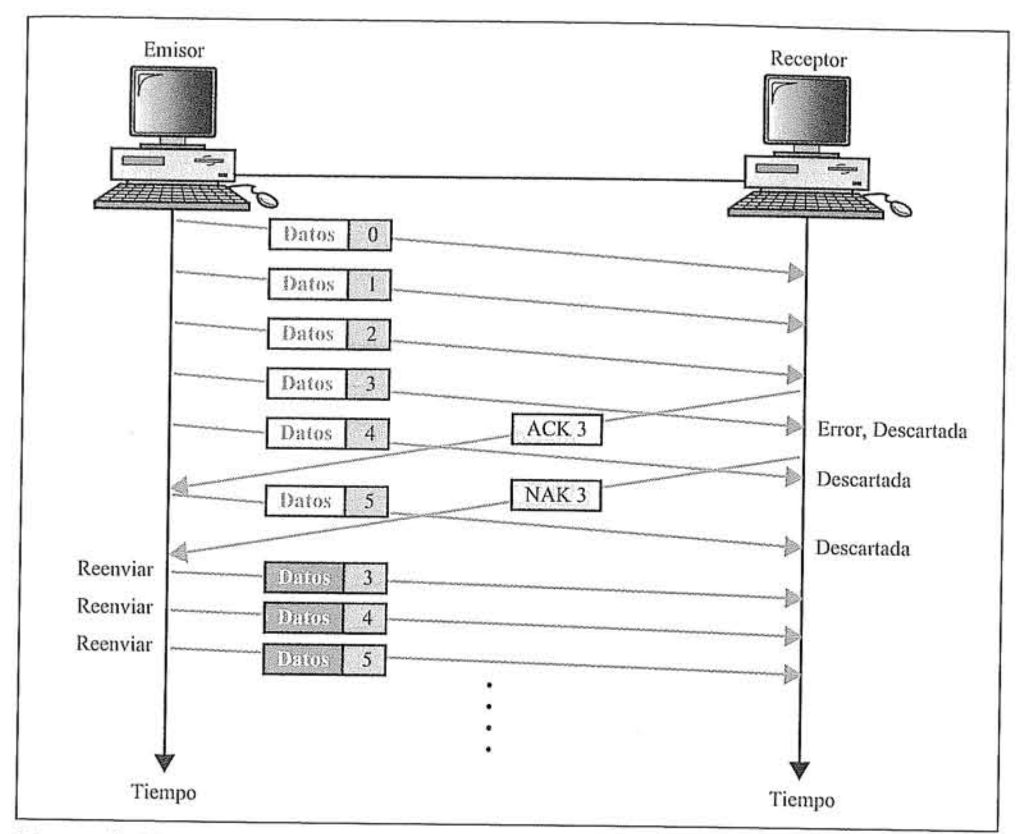


Figura 10.19. *Vuelta atrás* n, *trama de datos errónea.*

Trama de datos perdida. Los protocolos con ventana deslizante necesitan que las tramas de datos se transmitan secuencialmente. Si una o más tramas están tan dañadas por el ruido que se pierden en la transmisión, la trama siguiente que llega al receptor no seguirá la secuencia adecuada. El receptor comprueba el número de identificación de cada trama, descubre que se han saltado una o más tramas y devuelve un NAK para la primera trama perdida. Una trama NAK no especifica si la trama se ha perdido o tiene errores, solamente que debe ser retransmitida. El dispositivo receptor retransmite la trama indicada en el NAK, así como todas las tramas que hubiera transmitido después de la perdida.

En la Figura 10.20, datos 0 y datos 1 llegan correctamente pero datos 2 se pierde. La trama siguiente que llega en el receptor es datos 3. Puesto que el receptor está esperando datos 2, entiende que datos 3 es un error, la descarta y devuelve un NAK 2, indicando que 0 y 1 han sido aceptadas pero que 2 tiene un error (en este caso se ha perdido). En este ejemplo, debido a que el emisor ha transmitido datos 4 antes de recibir NAK 2, datos 4 llega al destino fuera de orden y por consiguiente se descarta. Una vez que el emisor recibe NAK 2, retransmite las tres tramas pendientes (2, 3 y 4).

Reconocimiento perdido. El emisor no espera recibir una trama ACK para cada trama de datos que envía. Por ello, no puede usar la ausencia de números secuenciales de ACK para identificar tramas ACK o NAK perdidas. En su lugar, usa un temporizador. El dispositivo emisor puede enviar tantas tramas como le permita su ventana antes de esperar un reconocimiento.

Figura 10.20. *Vuelta atrás* n, *trama de datos perdida.*

Una vez que se ha alcanzado este límite o que el servidor no tiene más tramas que enviar, debe esperar.

Si el ACK (o, especialmente, el NAK) enviado por el receptor se pierde, el emisor podría quedarse esperando para siempre. Para evitar bloquear ambos dispositivos, el emisor está equipado con un temporizador que empieza a contar cada vez que se excede la capacidad de la ventana. Si no se recibe un reconocimiento antes del plazo de tiempo, el emisor retransmite todas las tramas transmitidas desde el último ACK.

La Figura 10.21 muestra una situación en la que el emisor ha transmitido todas las tramas y espera un reconocimiento perdido por el camino. El emisor espera una cantidad de tiempo predefinida y a continuación retransmite las tramas sin reconocer. El receptor reconoce que la nueva transmisión es una repetición de la anterior, envía otro ACK y descarta los datos redundantes.

Rechazo selectivo con ARQ

En el **rechazo selectivo con ARQ,** solamente se retransmite la trama específica que tiene errores o se ha perdido. Si una trama se corrompe en tránsito, se devuelve NAK y la trama se reenvía fuera de secuencia. El dispositivo receptor debe ser capaz de ordenar las tramas que tiene e insertar la trama retransmitida en el lugar adecuado de la secuencia. Para que esta selectividad sea posible, un sistema con rechazo selectivo ARQ difiere de un sistema con vuelta atrás *n* ARQ de la forma siguiente:

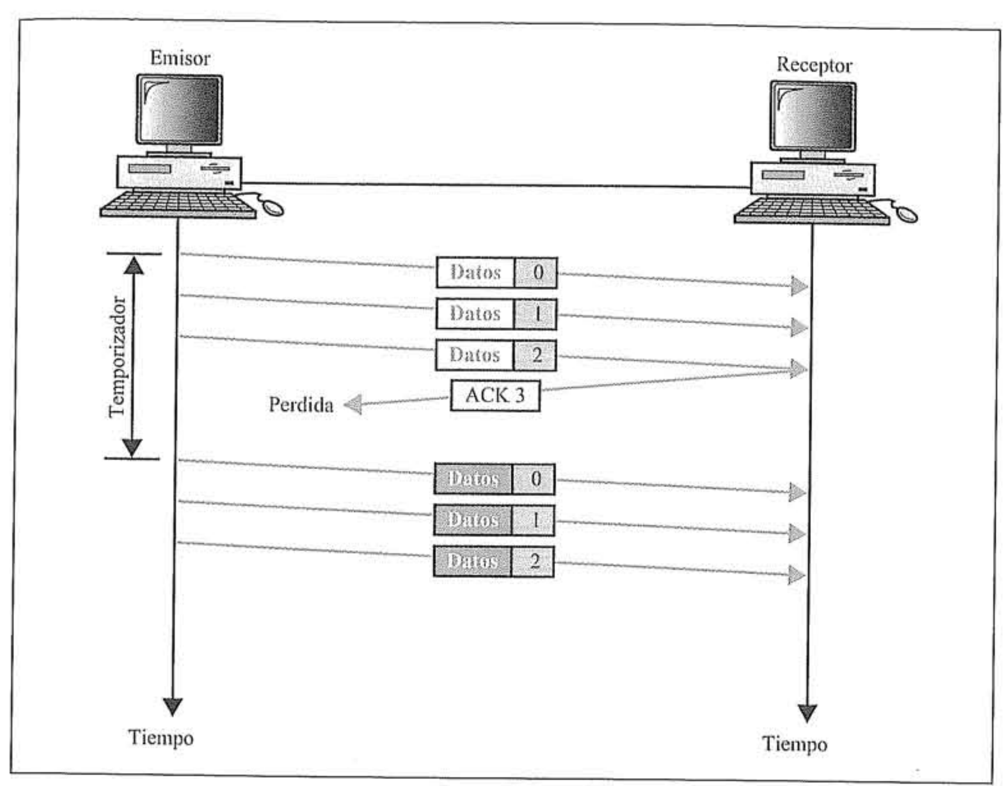


Figura 10.21. *Vuelta atrás* n, *ACK perdido.*

- El dispositivo receptor debe contener lógica de ordenación para permitirle reordenar tramas recibidas fuera de secuencia. También debe ser capaz de almacenar las tramas recibidas después de que haya enviado un NAK hasta que la trama dañada sea reemplazada.
- El dispositivo emisor debe contener un dispositivo de búsqueda que le permita encontrar y seleccionar solamente la trama cuya retransmisión ha sido solicitada.
- Un buffer del receptor debe almacenar todas las tramas recibidas anteriormente a la espera de que todas las retransmisiones hayan sido ordenadas y de que se identifiquen y descarten todas las tramas duplicadas.
- Para ayudar con la selección, los números de ACK, como los números de NAK, deben referirse a la trama recibida (o perdida) y no a la siguiente trama esperada.
- Para que sea eficiente, esta complejidad necesita un tamaño de ventana más pequeño que el necesario para el método vuelta atrás n. Es recomendable que el tamaño de la ventana sea menor o igual que $(n + 1)/2$, donde n-1 es el tamaño de ventana vuelta atrás n.

Tramas dañadas. La Figura 10.22 muestra una situación en la cual se ha recibido una trama dañada. Como se puede ver, las tramas 0 y 1 se reciben pero no se reconocen. Datos 2 llega y se detecta que tiene un error, por lo que se devuelve un NAK 2. Al igual que las tramas NAK en la corrección de errores vuelta atrás n, este NAK reconoce la recepción correcta de cualquier trama de datos previa sin reconocer e indica un error en la trama actual. En la figura, NAK 2 le dice al emisor que datos 0 y datos 1 han sido aceptados pero que debe enviar datos 2.

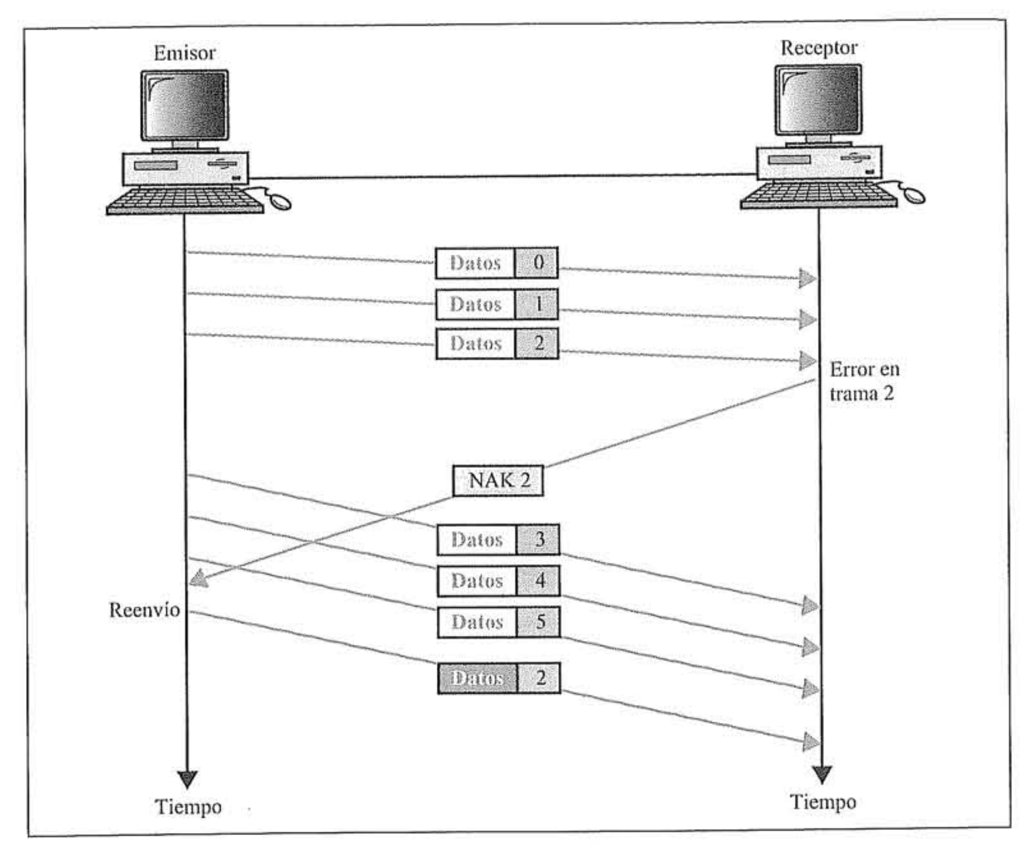


Figura 10.22. *Rechazo selectivo, trama de datos dañada.*

Sin embargo, a diferencia del receptor en un sistema vuelta atrás n, el receptor en un sistema de rechazo selectivo continúa aceptando tramas nuevas mientras espera que se corrija el error. Sin embargo, debido a que un ACK implica la recepción correcta no solo de la trama específica indicada sino de todas las anteriores, las tramas recibidas después del error no pueden ser reconocidas hasta que las tramas dañadas hayan sido retransmitidas. En la figura, el receptor acepta datos 3, 4 y 5 mientras espera una nueva copia de datos 2. Cuando llega la nueva copia de datos 2, se devuelve un ACK 5, reconociendo los datos nuevos de 2 y las tramas originales 3, 4 y 5. En el receptor es necesario tener una cierta lógica para ordenar las retransmisiones fuera de orden y seguir la pista a las tramas perdidas que todavía deben ser reconocidas.

Tramas de datos. Aunque las tramas se pueden aceptar fuera de orden, no se pueden reconocer fuera de orden. Si se pierde una trama, la siguiente trama llegará desordenada. Cuando el receptor trata de reordenar las tramas que tiene para incluirla, descubrirá una discrepancia y devolverá un NAK. Por supuesto, el receptor reconocerá la omisión solo si ha recibido más tramas después. Si la trama perdida era la última de la transmisión, el receptor no hace nada y el emisor trata este silencio como un reconocimiento perdido.

Reconocimiento perdido. Las tramas ACK y NAK perdidas se tratan en el método de rechazo selectivo con ARQ igual que se hace en el método vuelta atrás n con ARQ. Cuando el dispositivo emisor alcanza la capacidad de su ventana o llega al final de su transmisión, activa un temporizador. Si no llega un reconocimiento en el tiempo establecido, el emisor retransmite todas las tramas pendientes de reconocimiento. En la mayoría de los casos, el receptor reconocerá los duplicados y los descartará.

Comparación entre vuelta atrás n y rechazo selectivo

Aunque retransmitir únicamente las tramas dañadas o las tramas perdidas puede parecer más eficiente que reenviar también tramas correctas, de hecho no es así. Debido a la complejidad asociada a la ordenación y al almacenamiento necesario en el receptor y a la lógica extra necesaria en el emisor para seleccionar las tramas específicas para su retransmisión, el rechazo selectivo con ARQ es caro y no se usa a menudo. En otras palabras, el rechazo selectivo da mejores prestaciones, pero en la práctica se suele descartar a favor de la vuelta atrás n por la sencillez de la implementación de este último.

> Observe que el protocolo de parada y espera es un caso especial de protocolo de ventana deslizante con un tamaño de ventana 1.

10.4. TÉRMINOS Y CONCEPTOS CLAVE

buffer
control de errores
control de flujo
disciplina de línea
estación primaria
estación secundaria
fin de transmisión (EOT)
parada y espera
parada y espera con ARQ
petición de repetición automática (ARQ)
rechazo selectivo con ARQ
reconocimiento (ACK)
reconocimiento negativo (NAK)
selección
solicitud/reconocimiento (ENQ/ACK)
sondeo
sondeo/selección
ventana deslizante
ventana deslizante con ARQ
vuelta atrás n con ARQ

10.5. RESUMEN

- El segundo nivel del modelo OSI, el nivel de enlace de datos, tiene tres funciones principales: disciplina de línea, control de flujo y control de errores.
- La disciplina de línea establece el estatus del dispositivo (emisor o receptor) en un enlace.
- ENQ/ACK es un método de disciplina de línea usado en conexiones punto a punto.
- El dispositivo de recepción que usa la disciplina de línea ENQ/ACK responde con un reconocimiento (ACK) si está listo para recibir datos o con un reconocimiento negativo (NAK) si no está listo.
- El sondeo/selección es un método de disciplina de línea. El dispositivo primario siempre inicia la comunicación con una trama de sondeo o de selección (SEL).
- Una trama de sondeo se envía al dispositivo secundario por el primario para determinar si el secundario tiene datos a enviar. El secundario puede responder enviando un NAK (no hay datos a enviar) o una trama de datos.

- Una trama SEL se envía del dispositivo primario al secundario para indicarle que se prepare a recibir datos. El secundario responde con un ACK o un NAK.
- El control de flujo es una regulación de la transmisión de datos que permite que el buffer del receptor no sea desbordado por los datos.
- Hay dos métodos principales de control de flujo:
  a. Parada y espera.
  b. Ventana deslizante.
- Con el control de flujo parada y espera, cada trama debe ser reconocida por el receptor antes de que se pueda enviar la trama siguiente.
- Con el método de control de flujo con ventana deslizante, el emisor de los datos está restringido a una ventana imaginaria que se expande o se contrae de acuerdo con los reconocimientos recibidos por el emisor. Igualmente, el receptor de datos está restringido por una ventana imaginaria que se expande y se contrae de acuerdo a los datos recibidos.
- El control de errores, o cómo se gestionan los datos perdidos o dañados o los reconocimientos, es sencillamente la retransmisión de los datos.
- La retransmisión de los datos se inicia mediante una petición de repetición automática (ARQ).
- Hay tres tipos de errores que necesitan ARQ: una trama añada, una trama perdida y un reconocimiento perdido.
- El método usado para gestionar el control de errores depende del método usado para el control de flujo.
- Para el control de flujo de parada y espera, se usa parada y espera con ARQ.
- Para el control de flujo con ventana deslizante, se usa vuelta atrás *n* o rechazo selectivo con ARQ.
- En la parada y espera con ARQ, se retransmite la trama no reconocida.
- En la vuelta atrás *n* con ARQ, la retransmisión comienza con la última trama no reconocida incluso si las tramas siguientes han llegado correctamente. Las tramas duplicadas se descartan.
- En el rechazo selectivo con ARQ, solamente se retransmiten las tramas no reconocidas.

10.6. MATERIAL PRÁCTICO

Preguntas de revisión

1. Indique las diferencias entre comunicación y transmisión.
2. ¿Cuáles son las tres funciones principales del nivel de enlace de datos?
3. ¿Cuáles son los objetivos de la disciplina de línea?
4. ¿Cuáles son los dos métodos principales de la disciplina de línea? ¿Cómo selecciona un sistema que usar?
5. ¿Cuál es el mecanismo de ENQ/ACK?
6. ¿Cuál es el mecanismo de sondeo/selección?
7. ¿Por qué son necesarias las direcciones en el sondeo/selección pero no en el ENQ/ACK

8. ¿Cuál es la diferencia entre sondeo y selección?
9. ¿Por qué se necesita el control de flujo?
10. Razone el uso del buffer en el receptor para controlar el flujo.
11. ¿Cuáles son los dos métodos de control de flujo de datos en los enlaces de comunicaciones?
12. ¿Cuál es el mecanismo de control de flujo parada y espera?
13. ¿Cuál es el mecanismo de control de flujo con ventana deslizante?
14. ¿Qué significa el término control de errores en el enlace de datos?
15. ¿Cuáles son los dos métodos principales de control de errores?
16. ¿En qué situaciones retransmite un paquete el emisor?
17. ¿Cuál es el mecanismo de control de errores de parada y espera con ARQ?
18. Cuáles son los dos tipos de control de errores en la ventana deslizante con ARQ? ¿En qué se diferencian?
19. ¿Cuáles son algunos de los parámetros a considerar en el control de flujo?
20. En el control de flujo con parada y espera, defina y razone la gestión de
    a. Una trama dañada.
    b. Una trama perdida.
21. En la parada y espera con ARQ, ¿qué ocurre si se pierde en la transmisión una trama NAK? ¿Por qué no hay necesidad de que las NAK estén numeradas?
22. ¿Qué ventana deslizante con ARQ es más popular? ¿Por qué?
23. ¿Cuándo se descartan las tramas en los tres métodos con ARQ?

Preguntas con respuesta múltiple

24. El dispositivo secundario en una configuración multipunto envía los datos como respuesta a ______.
    a. un ACK
    b. un ENQ
    c. un sondeo
    d. un SEL
25. En el control de flujo con ventana deslizante, si el tamaño de la ventana es 63, ¿cuál es el rango de los números de secuencia?
    a. 0 a 63
    b. 0 a 64
    c. 1 a 63
    d. 1 a 64
26. En el control de flujo con ventana deslizante las tramas a la izquierda de la ventana del receptor son tramas ______.
    a. recibidas pero no reconocidas
    b. recibidas y reconocidas
    c. no recibidas
    d. no enviadas
27. La regulación de la tasa de transmisión de las tramas de datos se conoce como ______.
    a. disciplina de línea
    b. control de flujo
    c. control de tasa de datos
    d. control de conmutación

28. La _____ decide el papel (emisor o receptor) de un dispositivo en la red.
    a. conexión de línea
    b. conexión de enlaces
    c. disciplina de línea
    d. decisión de enlace
29. La retransmisión de las tramas perdidas o dañadas en el nivel de enlace de datos se conoce como _____.
    a. control de errores
    b. acondicionamiento de errores
    c. disciplina de línea
    d. control de flujo
30. Cuando un dispositivo primario quiere enviar datos a un dispositivo secundario, necesita enviar primero una trama _____.
    a. ACK
    b. sondeo
    c. SEL
    d. ENQ
31. Cuando un dispositivo secundario está listo para enviar datos, debe esperar por una trama _____.
    a. ACK
    b. de sondeo
    c. SEL
    d. ENQ
32. En un sistema paritario, cuando un dispositivo quiere enviar datos a otro dispositivo, envía primero una trama _____.
    a. ACK
    b. de sondeo
    c. SEL
    d. ENQ
33. El control de flujo es necesario para prevenir _____.
    a. errores de bit
    b. desbordamiento del buffer del emisor
    c. desbordamiento del buffer del receptor
    d. colisión entre emisor y receptor
34. En la vuelta atrás *n* con ARQ, si las tramas 4, 5 y 6 se reciben correctamente, el receptor puede enviar un ACK _____ al emisor.
    a. 5
    b. 6
    c. 7
    d. ninguno de los anteriores
35. Para una ventana deslizante de tamaño $n - 1$ (n números de secuencia), puede haber un máximo de _____ tramas enviadas pero sin reconocer.
    a. 0
    b. $n - 1$
    c. n
    d. $n + 1$

36. Un ACK 3 en control de flujo con ventana deslizante (tamaño de ventana 7) indica que la trama que espera a continuación el receptor es _____.
    a. 2
    b. 3
    c. 4
    d. 8
37. En la parada y espera con ARQ, si datos 1 tiene un error, el receptor envía una trama _____.
    a. NAK 0
    b. NAK 1
    c. NAK 2
    d. NAK
38. En _____ ARQ, cuando se recibe un NAK, todas las tramas enviadas desde la última reconocida se retransmiten.
    a. parada y espera
    b. vuelta atrás *n*
    c. rechazo selectivo
    d. a y b
39. En _____ ARQ, si se recibe un NAK, solamente se retransmite la trama específica dañada o perdida.
    a. parada y espera
    b. vuelta atrás *n*
    c. rechazo selectivo
    d. a y b
40. ARQ significa _____.
    a. cuantización de repetición automática
    b. petición de repetición automática
    c. petición de retransmisión automática
    d. petición de repetición del conocimiento
41. ¿Cuál de las siguientes es una función del nivel de enlace de datos?
    a. disciplina de línea
    b. control de flujo
    c. control de errores
    d. todas las anteriores
42. En una comunicación _____, el método sondeo/selección se usa para determinar el control de la línea.
    a. entre iguales
    b. dispositivo al primario
    c. primario al dispositivo
    d. primario al secundario
43. Se activa un temporizador cuando se envía _____.
    a. un paquete
    b. un ACK
    c. un NAK
    d. todos los anteriores
44. La disciplina de línea de sondeo/selección necesita _____ para identificar el receptor del paquete.

a. un temporizador
b. un buffer
c. una dirección
d. una línea dedicada

45. Con el control de flujo parada y espera, si se han enviado n paquetes de datos, se necesitan _____ reconocimientos.
   a. n
   b. $2n$
   c. $n - 1$
   d. $n + 1$

Ejercicios

46. Dibuje las ventanas del emisor y del receptor para un sistema que usa vuelta atrás n con ARQ dado lo siguiente:
   a. Trama 0 enviada; trama 0 reconocida.
   b. Tramas 1 y 2 enviadas; tramas 1 y 2 reconocidas.
   c. Tramas 3, 4 y 5 enviadas; recibido NAK 4.
   d. Tramas 4, 5, 6 y 7 enviadas; tramas 4 a 7 reconocidas.
47. Repita el Ejercicio 46 usando rechazo selectivo con ARQ.
48. ¿Qué puede enviar el receptor para responder a lo siguiente?
   a. Un sondeo.
   b. Una selección.
49. ¿Qué significa el número de la trama NAK para
   a. parada y espera con ARQ?
   b. vuelta atrás n con ARQ?
   c. rechazo selectivo con ARQ?
50. ¿Qué significa el número de trama ACK para
   a. parada y espera con ARQ?
   b. vuelta atrás n con ARQ?
   c. rechazo selectivo con ARQ?
51. El emisor ha recibido un ACK 7 en un sistema de ventana deslizante con vuelta atrás n. Ahora envía las tramas 7, 0, 1, 2 y 3. Para cada uno de los siguientes escenarios distintos, discuta la importancia de la recepción de
   a. un ACK 1.
   b. un ACK 4.
   c. un ACK 3.
   d. un NAK 1
   e. un NAK 3.
   f. un NAK 7.
52. Un protocolo de ventana deslizante usa un tamaño de venta 15. ¿Cuántos bits son necesarios para definir el número de secuencia?
53. Un protocolo de ventana deslizante usa 7 bits para representar los números de secuencia. ¿Cuál es el tamaño de la ventana?
54. Una computadora usa una ventana deslizante de tamaño 7. Complete los números de secuencia siguiente para 20 paquetes:
   0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, ...

55. Una computadora usa los siguientes números de secuencia. ¿Cuál es el tamaño de la ventana?
   0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 0, 1, ...
56. Se ha dicho que el protocolo de parada y espera es realmente un protocolo de ventana deslizante con tamaño de ventana 1. Muestre el funcionamiento de la ventana para la Figura 10.16.
57. Repita le Ejercicio 56 para la Figura 10.17.
58. Repita el Ejercicio 56 para la Figura 10.18.
59. Muestre el funcionamiento de la ventana del emisor para la Figura 10.19. Muestre las localizaciones exactas de las paredes en cada transmisión. Asuma un tamaño de ventana de 7.
60. Repita el Ejercicio 59 para la Figura 10.20.
61. Repita el Ejercicio 59 para la Figura 10.21.
62. Una computadora A usa un protocolo de parada y espera con ARQ para enviar los paquetes a la computadora B. Si la distancia entre A y B es 4.000 Km, ¿cuánto tarda la computadora A en recibir un reconocimiento de un paquete? Use la velocidad de la luz como velocidad de propagación y asuma que el tiempo entre la recepción y el envío del reconocimiento es 0.
63. En el Ejercicio 62, ¿cuánto tardaría la computadora A en enviar un paquete de tamaño 1.000 bytes si el rendimiento es 100.000 Kbps?
64. Usando los resultados de los Ejercicios 62 y 63, ¿cuánto tiempo está la computadora A ociosa?
65. Repita el Ejercicio 64 para un sistema que usa ventana deslizante con ARQ con un tamaño de ventana de 255.
66. En la Figura 10.23, muestre la ventana después de que el emisor ha enviado los paquetes 0 a 11 y ha recibido ACK 8.
67. En la Figura 10.23, muestre la ventana después de que el emisor ha enviado los paquetes 0 a 11 y ha recibido NAK 6.
68. En la Figura 10.23, el emisor ha enviado los paquetes 0 a 14, no ha recibido ningún reconocimiento y ha vencido su temporizador. Muestre la ventana del emisor.
69. En la Figura 10.23, el receptor ha enviado ACK 6 y ACK 9, pero ACK se ha perdido. Muestre la ventana del emisor.

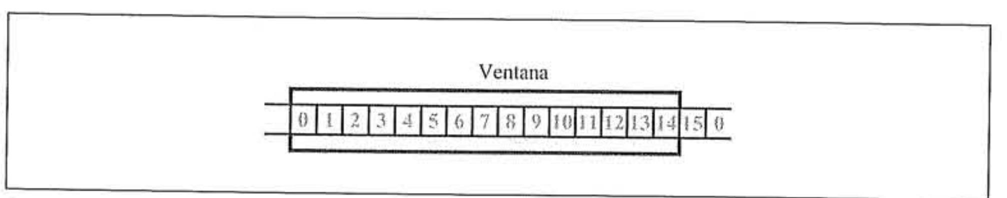


Figura 10.23. *Ejercicios 66, 67, 68 y 69.*

CAPÍTULO 11

Protocolos de enlace de datos

En general, la palabra *protocolo* designa un conjunto de reglas o convenios para llevar a cabo una tarea determinada. En la transmisión de datos, *protocolo* se usa en un sentido menos amplio para indicar el conjunto de reglas o especificaciones que se usan para implementar uno o más niveles del modelo OSI. En capítulos anteriores ya se ha visto la interfaz EIA 232-D, que es un protocolo que se usa en el nivel físico del modelo OSI.

> En transmisión de datos, un protocolo es el conjunto de reglas o especificaciones usadas para implementar uno o más niveles del modelo OSI.

Los protocolos de enlace de datos son un conjunto de especificaciones que se usan para implementar el nivel de enlace de datos. Para conseguir este fin, contienen reglas para especificar la disciplina de línea, el control de flujo y la gestión de errores, entre otras cosas.

> Un protocolo de enlace de datos es un conjunto de especificaciones que se usan para implementar el nivel de enlace de datos.

Los protocolos de enlace de datos se pueden dividir en dos subgrupos: protocolos asíncronos y protocolos síncronos (véase la Figura 11.1). Los protocolos asíncronos tratan cada carácter de un flujo de bits independientemente. Los protocolos síncronos consideran el flujo completo de bits y lo dividen en caracteres de igual tamaño.

11.1. PROTOCOLOS ASÍNCRONOS

En las últimas décadas se ha desarrollado un cierto número de **protocolos asíncronos** de enlace de datos, algunos de los cuales se muestran en la Figura 11.2. Actualmente, estos protocolos se emplean principalmente en los módems. Debido a su lentitud inherente (que resulta de los añadidos necesarios de bits de inicio y de parada y la extensión de espacios entre **tramas**), la transmisión asíncrona de este nivel se está reemplazando por mecanismos síncronos de mayor velocidad.

Los protocolos asíncronos no son complejos y son baratos de implementar. Como se vio en el Capítulo 6, en la transmisión asíncrona una unidad de datos se transmite sin coordina-

Protocolos de enlace de datos

Protocolos asíncronos — Protocolos síncronos

Figura 11.1. *Clases de protocolos de enlace de datos.*

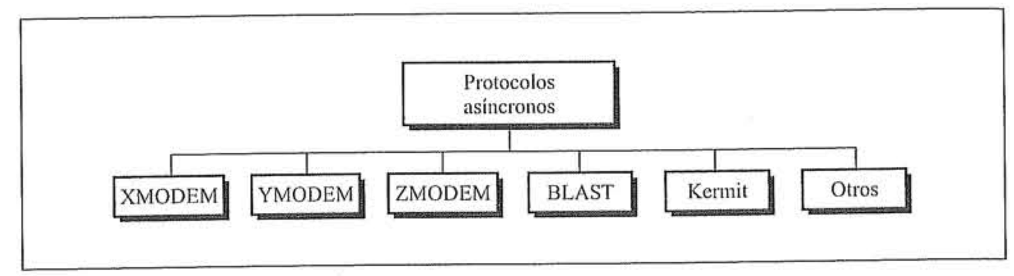


Figura 11.2. *Protocolos asíncronos.*

ción de tiempo entre el emisor y el receptor. Un receptor no necesita saber exactamente cuándo se envía una unidad de datos; solamente necesita reconocer el principio y el final de la unidad. Esto se lleva a cabo usando bits extra (bits de inicio y de parada) para enmarcar la unidad de datos.

> Los protocolos asíncronos, usados principalmente en los módems, tienen como características los bits de inicio y de parada y los intervalos de longitud variable entre caracteres.

Se ha desarrollado una cierta variedad de protocolos asíncronos de enlace de datos; unos pocos de los cuales se tratan en este libro.

XMODEM

En 1979 Ward Christiansen diseñó un protocolo de transferencia de archivos para la comunicación telefónica entre dos PC. Este protocolo, actualmente conocido como **XMODEM,** es un protocolo semidúplex de tipo parada y espera con ARQ. En la Figura 11.3 se muestra la trama con sus campos.

El primer campo es un byte de comienzo de cabecera (SOH). El segundo campo es una cabecera de dos bytes. El primer byte de la cabecera, el número de secuencia, lleva el número de trama. El segundo byte de la cabecera se usa para comprobar la validez del número de secuencia. El campo de datos de tamaño fijo lleva 128 bytes de datos (binarios, ASCII, Boolean, texto, etc.). El último campo, CRC, sirve para comprobar la existencia de errores únicamente en el campo de datos.

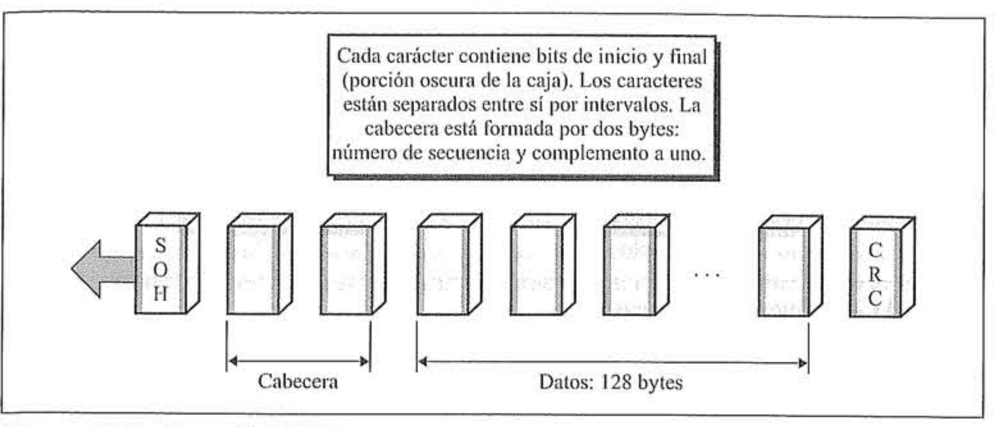


Figura 11.3. *Trama XMODEM.*

En este protocolo, la transmisión comienza con el envío de una trama NAK desde el receptor al emisor. Cada vez que el emisor envía una trama, debe esperar un reconocimiento (ACK) antes de poder enviar la trama siguiente. Si en lugar de ello recibe un NAK, reenvía de nuevo la trama anterior. Una trama también se puede reenviar si el emisor no recibe respuesta del receptor después de un cierto periodo de tiempo. Además del NAK o el ACK, el emisor puede recibir una señal de cancelación (CAN), que termina la transmisión.

YMODEM

El **YMODEM** es un protocolo similar al XMODEM, con las siguientes diferencias significativas:

- La unidad de datos es de 1.024 bytes.
- Se envían dos CAN para terminar la transmisión.
- Se usa el código CRC-16 de la ITU-T para comprobación de errores.
- Se pueden enviar múltiples archivos de forma simultánea.

ZMODEM

ZMODEM es un protocolo más moderno que combina características de XMODEM e YMODEM.

BLAST

El **protocolo de transmisión asíncrona bloqueada (BLAST,** *Blocked asynchronous transmission*) es más potente que el XMODEM. Es un protocolo dúplex con control de flujo de ventana deslizante. Permite la transferencia de archivos de datos y binarios.

Kermit

Kermit, diseñado en la Universidad de Columbia, es el protocolo asíncrono más ampliamente usado en la actualidad. Este protocolo de transferencia de archivos es similar en su funcionamiento al XMODEM, con el emisor esperando un NAK antes de empezar la transmisión. Ker-

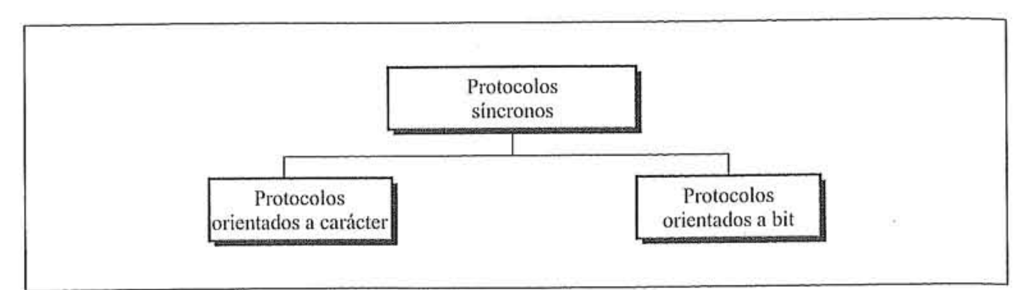


Figura 11.4. *Protocolos síncronos.*

mit permite la transmisión de caracteres de control como texto usando dos pasos. Primero, el carácter de control usado como texto se transforma a un carácter imprimible añadiendo un número fijo a su representación de código ASCII. Segundo, se añade el carácter # delante del carácter transformado. De esta forma, un carácter de control usado como texto se envía mediante dos caracteres. Cuando el receptor encuentra un carácter sostenido o almohadilla (#), sabe que debe eliminarlo y que el siguiente carácter es uno de control. Si el emisor quiere enviar un carácter sostenido, lo que tiene que hacer es enviar dos. Observe que Kermit es un programa de emulación de terminal además de un protocolo de transferencia de archivos.

11.2. PROTOCOLOS SÍNCRONOS

La velocidad de la transmisión síncrona hace de ella una mejor elección que la transmisión asíncrona cuando se usa tecnología LAN, MAN y WAN. Los protocolos que gobiernan la transmisión síncrona se pueden dividir en dos clases: protocolos orientados a carácter y protocolos orientados a bit (véase la Figura 11.4).

Los **protocolos orientados a carácter** (también denominados **protocolos orientados a byte**) interpretan un paquete o trama de transmisión como una sucesión de caracteres, cada uno de los cuales está habitualmente compuesto por un byte (ocho bits). Toda la información de control está en un formato de cualquier sistema de codificación de carácter existente (por ejemplo, caracteres ASCII).

Los **protocolos orientados a bit** interpretan la trama o paquete de transmisión como una sucesión de bits individuales, cuyo significado se extrae por su posición dentro de la trama y por su yuxtaposición con otros bits. La información de control en un protocolo orientado a bit puede venir dada por uno o varios bits dependiendo de la información incluida en el patrón.

> En un protocolo orientado a carácter, la trama o paquete se interpreta como una serie de caracteres. En un protocolo orientado a bit, la trama o paquete se interpreta como una serie de bits.

11.3. PROTOCOLOS ORIENTADOS A CARÁCTER

Por razones que se verán en esta sección más tarde, los protocolos orientados a carácter no son tan eficientes como los protocolos orientados a bit y por tanto se usan más raramente en la actualidad. Sin embargo, son fáciles de comprender y emplean la misma lógica de organización que los protocolos orientados a bit. La comprensión de los protocolos orientados a carácter proporciona una base fundamental para el examen de los protocolos orientados a bit.

En todos los protocolos de enlace de datos, se inserta la información de control dentro del flujo de datos en lugar de usar tramas de control separadas o añadidos a las tramas de datos existentes. En los protocolos orientados a carácter, esta información se añade en forma de palabras claves tomadas de los conjuntos de caracteres existentes tales como ASCII o EBCDIC. Estos caracteres multibit transportan información acerca de la disciplina de línea, el control de flujo, el control de errores. De los distintos protocolos existentes orientados a carácter, el más conocido es el protocolo de comunicación síncrona binaria (BSC, *binary sinchronous communication*) de IBM.

Comunicación síncrona binaria (BSC)

El protocolo de **comunicación síncrona binaria (BSC,** *Binary Sinchronous Communication*) es un protocolo de enlace de datos orientado a carácter muy popular, desarrollado por IBM en 1964. Se puede usar tanto en configuraciones punto a punto como en configuraciones multipunto, proporciona transmisión semidúplex usando control de flujo de tipo parada y espera con ARQ y corrección de errores. El BSC no soporta la transmisión dúplex o protocolos de ventana deslizante.

> Un protocolo de enlace de datos orientado a carácter muy popular es el de comunicación síncrona binaria (BSC), que especifica una transmisión semidúplex con parada y espera con ARQ. Fue desarrollado por IBM.

Caracteres de control

La Tabla 11.1 muestra una lista de **caracteres de control** estándares usados en la trama BSC. Observe que el carácter ACK no se usa en este protocolo. Recuerde que BSC usa parada y espera con ARQ; los reconocimientos deben ser, por tanto, ACK 0 o ACK 1 para especificar las tramas de datos alternas.

Códigos ASCII

Los caracteres de la Tabla 11.1 se representan de forma distinta en los distintos sistemas de codificación, y no todos ellos están disponibles en todos los sistemas. Independientemente del sistema usado, no todos los caracteres de control se pueden representar con un único carácter. A menudo, es necesario representarlos mediante dos o tres caracteres. Los códigos ASCII necesarios se muestran también en la Tabla 11.1. En el Apéndice A hay una lista completa de los códigos ASCII.

Tramas BSC

El protocolo BSC divide la transmisión en tramas. Una trama que se usa estrictamente para control del protocolo, se denomina trama de control. Las tramas de control se usan para intercambiar información entre los dispositivos en comunicación, por ejemplo, para establecer la conexión inicial, para controlar el flujo de la transmisión, para pedir corrección de errores y para desconectar los dispositivos en el cierre de la sesión. Si una trama contiene parte o todo

Tabla 11.1. *Carácter de control de BSC*

Carácter	*Código ASCII*	*Función*
ACK 0	DLE y 0	Recibida una trama par correcta o listo para recibir
ACK 1	DLE y 1	Recibida trama impar correcta
DLE	DLE	Marcador de transparencia de datos
ENQ	ENQ	Petición de respuesta
EOT	EOT	Terminación de emisor
ETB	ETB	Bloque de fin de transmisión; necesita ACK
ETX	ETX	Fin de texto en un mensaje
ITB	US	Fin de un bloque intermedio en transmisión multibloque
NAK	NAK	Trama incorrecta recibida o nada para enviar
NUL	NULL	Carácter de relleno
RVI	DLE y <	Mensaje urgente del receptor
SOH	SOH	Comienzo de información de cabecera
STX	STX	Comienzo de texto
SYN	SYN	Alerta al receptor de la llegada de una trama
TTD	STX y ENQ	El emisor hace una pausa pero no libera la línea
WACK	DLE y;	Trama correcta recibida pero no listo para recibir más

el mensaje de datos, se denomina trama de datos. Las tramas de datos se usan para transmitir información, pero también pueden incluir información de control aplicable a esa información (véase la Figura 11.5).

Tramas de datos

La Figura 11.6 muestra el formato de una trama de datos sencilla. La flecha muestra el sentido de la transmisión. La trama comienza con dos o más caracteres de sincronización (SYN). Estos caracteres alertan al receptor de la llegada de una trama nueva y proporcionan un patrón

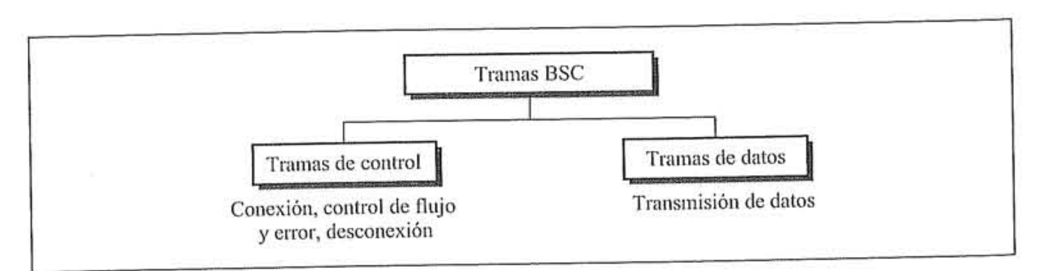


Figura 11.5. *Tramas BSC.*

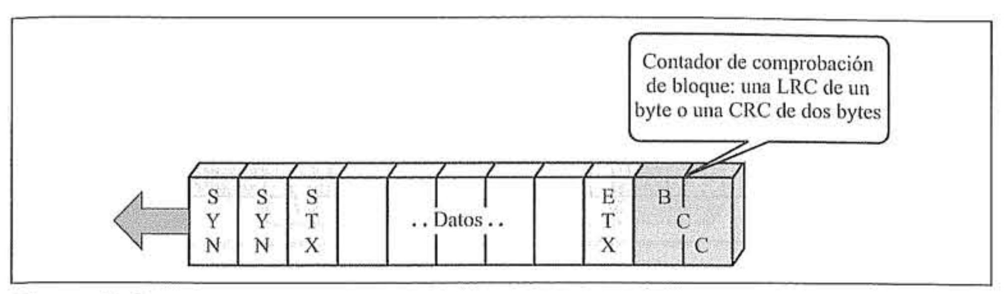


Figura 11.6. *Una trama de datos sencilla en BSC.*

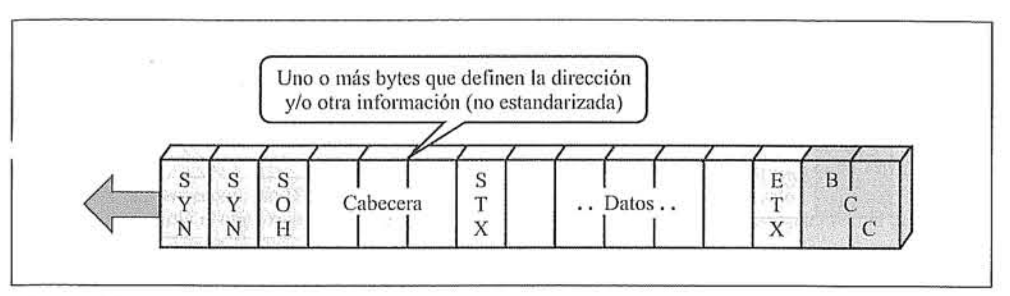


Figura 11.7. *Una trama BSC con una cabecera.*

de bits usado por el dispositivo receptor para sincronizar su temporización con la del dispositivo emisor. En el Apéndice A se puede ver que el código ASCII para SYN es 0010110. El bit de cabecera (octavo) del **byte** se rellena habitualmente con un 0 adicional. Dos caracteres SYN tienen el aspecto siguiente: 0001011000010110.

Después de los dos caracteres de sincronización viene un carácter de comienzo de texto (STX). Este carácter indica al receptor que la información de control ha terminado y que el siguiente byte es de datos. Los datos o el texto pueden estar formados por un número variable de caracteres. Un carácter fin de texto (ETX) indica la transición entre el texto y los siguientes caracteres de control.

Por último, se incluyen uno o dos caracteres denominados **contador de comprobación de bloque (BCC,** *block check count*) para la detección de errores. El campo BCC puede ser una comprobación de redundancia longitudinal de un carácter (LRC) o una comprobación de redundancia cíclica de dos caracteres (CRC).

Campos de cabecera. Una trama tan sencilla como la anterior apenas se usa. Habitualmente, es necesario incluir la dirección del dispositivo receptor, la dirección del dispositivo emisor y el número de identificación de la trama (0 o 1) para la parada y espera con ARQ (véase la Figura 11.7). Esta información se incluye en un campo especial denominado cabecera, que comienza con un carácter de inicio de cabecera (SOH). La cabecera viene después de los SYN y antes del carácter STX; cualquier cosa que se reciba después del campo SOH pero antes del carácter STX es información de cabecera.

Tramas multibloque. La probabilidad de que haya un error en el bloque de texto se incrementa con la longitud de la trama. Cuantos más bits hay en una trama, más grande es la probabilidad de que uno de ellos se haya corrompido en el tránsito y mayor es la probabilidad de que los cambios en varios bits se cancelen entre sí dificultando la detección de errores. Por

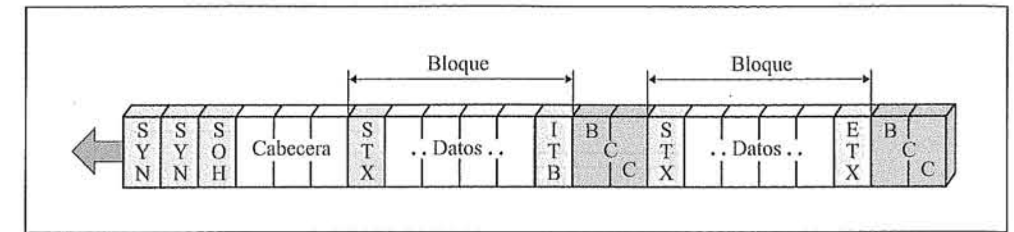


Figura 11.8. *Una trama multibloque.*

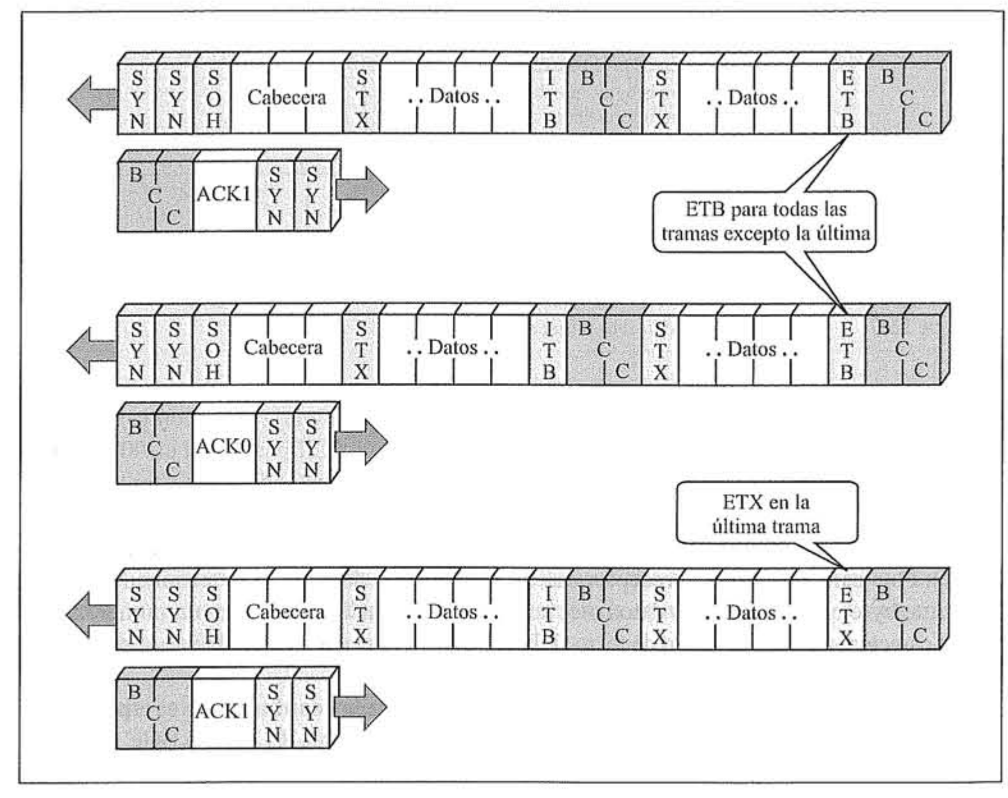


Figura 11.9. *Transmisión multitrama.*

esta razón, el texto de un mensaje se suele dividir en bloques. Cada bloque, excepto el último, comienza con un carácter STX y termina con un carácter de bloque de texto intermedio (ITB). El último bloque comienza con un STX pero termina con un ETX. Inmediatamente después de cada ITB o ETX viene un campo BCC. De esta forma, el receptor puede comprobar los errores de cada bloque por separado, incrementando así la probabilidad de su detección. Sin embargo, si un bloque contiene un error, es necesario transmitir toda la trama. Después de que se ha recibido el carácter ETX y se ha comprobado el último BCC, el receptor envía un solo reconocimiento para toda la trama. La Figura 11.8 muestra la estructura de una trama multibloque; el ejemplo incluye dos bloques, pero las tramas actuales pueden tener más de dos.

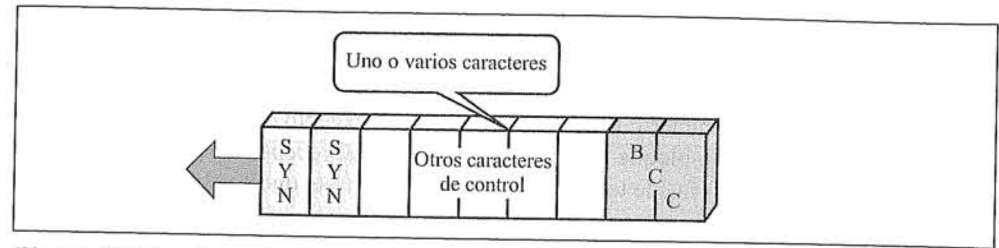


Figura 11.10. *Trama de control de BSC.*

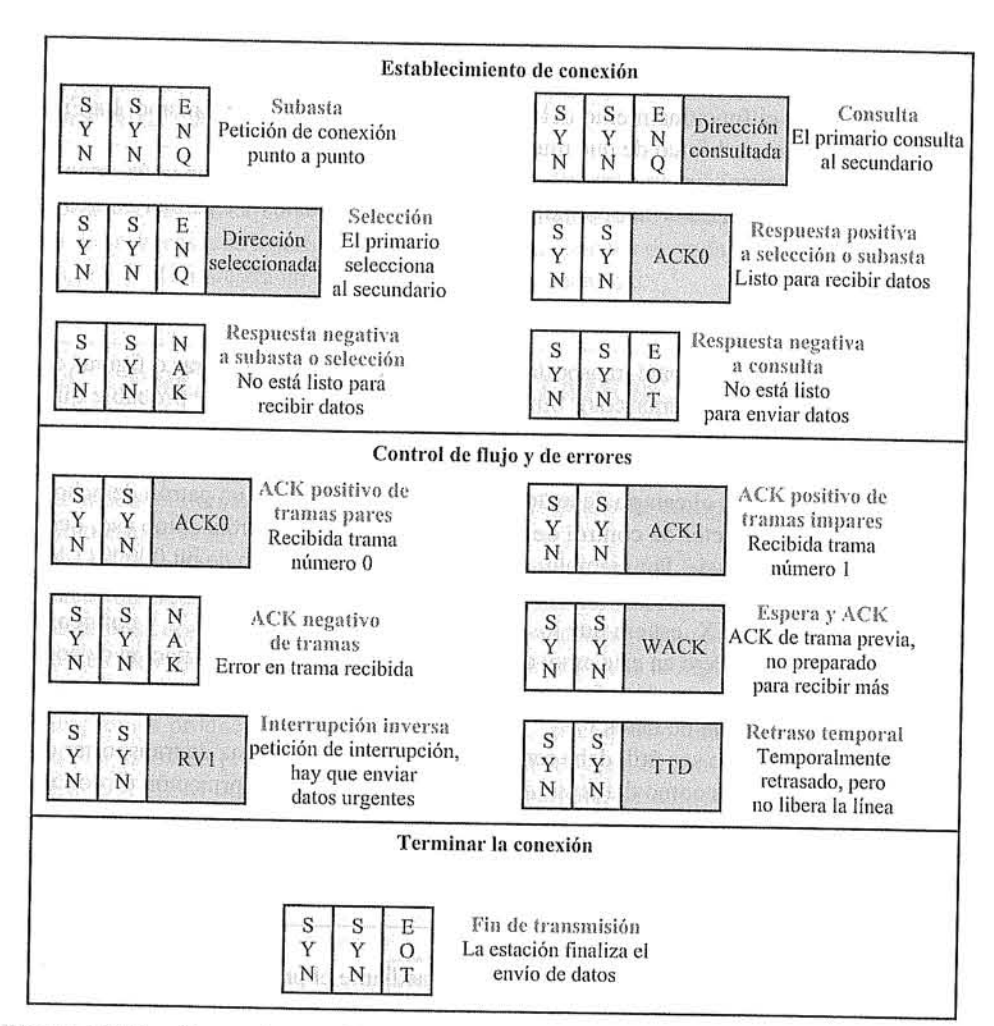


Figura 11.11. *Tramas de control.*

Transmisión multitrama. En los ejemplos anteriores, una única trama lleva todo el mensaje. Después de cada trama, el mensaje está completo y el control de la línea pasa al dispositivo secundario (modo semidúplex). Sin embargo, algunos mensajes pueden ser dema-

siado largos para que quepan en el formato de una trama. En estos casos, el emisor no sólo puede dividir el mensaje en bloques sino también en tramas. Varias tramas pueden llevar continuaciones de un mismo mensaje. Para que el receptor sepa que el fin de una trama no es el fin de la transmisión, el carácter ETX de todas las tramas, excepto de la última, se reemplaza por un carácter de fin de bloque de transmisión (ETB). El receptor debe reconocer cada trama por separado pero no puede tomar control de la línea hasta que ve el ETX de la última trama (véase la Figura 11.9).

Tramas de control

No se debería confundir una trama de control con un carácter de control. Una trama de control es lo que usa un dispositivo para enviar órdenes a, o solicitar información de, otros dispositivos. Una trama de control contiene caracteres de control pero no datos; lleva información específica para el funcionamiento del nivel del enlace de datos en sí mismo. La Figura 11.10 muestra el formato básico de una trama de control de BSC.

Las tramas de control sirven para tres objetivos: establecimiento de conexión, mantenimiento del flujo y control de errores durante la transmisión de datos y terminar conexiones (véase la Figura 11.11).

Transparencia de datos

BSC se diseñó originalmente para transportar sólo mensajes de texto (palabras o figuras compuestas por caracteres alfanuméricos). Sin embargo, actualmente es muy probable que un usuario quiera enviar secuencias binarias que contienen información no textual y órdenes, como programas y gráficos. Por desgracia, los mensajes de este tipo pueden crear problemas en la transmisión BSC. Si el campo de texto en la transmisión incluye un patrón de ocho bits que coincide con un carácter de control de BSC, el receptor lo interpreta como eso, destruyendo el sentido del mensaje. Por ejemplo, un receptor que ve el patrón de bit 0000011 lo lee como un carácter ETX. Como se vio anteriormente en las tramas de control, cada vez que el receptor encuentra un ETX, espera que los dos bytes siguientes sean el BCC y comienza la comparación de errores. Pero en este caso, el patrón 0000011 no lleva información de control sino datos. La confusión entre la información de control y los datos es lo que se denomina una falta de **transparencia** de datos.

Para que un protocolo sea útil, debe ser transparente: debe ser capaz de transportar cualquier combinación de bits como datos sin que se confundan con la información de control.

> La transparencia de datos en la transmisión de datos significa que se debe poder enviar cualquier combinación de bits como datos.

La transparencia de datos en BSC se consigue mediante el proceso denominado **relleno de byte.** Este proceso tiene dos funciones: definir la región de texto transparente con el carácter de escape del enlace de datos (DLE) y preceder cualquier carácter DLE en la región transparente con un carácter DLE extra.

Para definir la región transparente, se inserta un carácter DLE justo antes del carácter STX al principio de un campo de texto y otro justo antes del carácter ETX (o ITB o ETB) al final del campo de texto. El primer DLE le dice al receptor que el texto puede contener caracteres de control y que los ignore. El último DLE le dice al receptor que la región transparente ha terminado.

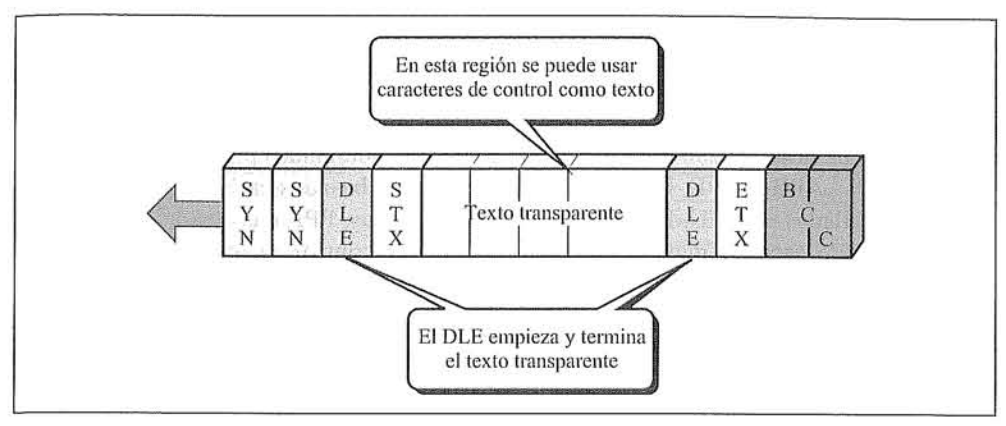


Figura 11.12. *Relleno de byte.*

Todavía pueden surgir problemas si la región transparente contiene un carácter DLE como texto. En este caso, se inserta un DLE adicional justo antes de cada DLE que hay en el texto. La Figura 11.12 muestra un ejemplo de trama transparente.

11.4. PROTOCOLOS ORIENTADOS A BIT

En los protocolos orientados a carácter, las regiones se agrupan en patrones predefinidos que forman caracteres. Por comparación, los protocolos orientados a bit pueden empaquetar más información en tramas más cortas y evitar los problemas de transparencia de los protocolos orientados a carácter.

Dadas las ventajas de los protocolos orientados a bit y la falta de cualquier sistema de codificación preexistente (como el ASCII) a la que adherirse, no hay que sorprenderse de que en las últimas dos décadas se hayan desarrollado muchos protocolos orientados a bit distintos, todos ellos queriendo convertirse en un estándar (véase la Figura 11.13). La mayoría de estas ofertas han sido de propietarios particulares, diseñados por los fabricantes para soportar sus propios productos. Uno de ellos, el HDLC, es el diseño de ISO y se ha convertido en la base de todos los protocolos orientados a bit que se usan en la actualidad.

En 1975, IBM lideró el desarrollo de los protocolos orientados a bit con el **control de enlace de datos síncrono (SDLC,** *synchronous data link control*) y presionó a ISO para

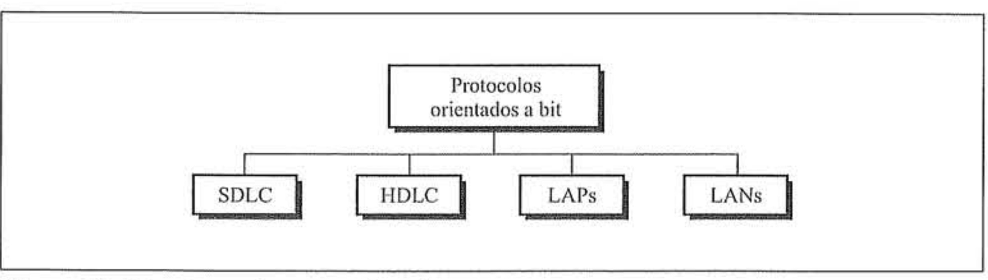


Figura 11.13. *Protocolos orientados a bit.*

hacer que SDLC fuera un estándar. En 1979, ISO respondió con el **control de enlace de datos de alto nivel** (**HDLC**, *high-level data link control*) que se basaba en SDLC. La adopción del HDLC por los comités de ISO llevó a su adopción y extensión a otras organizaciones. La ITU-T fue una de las primeras organizaciones en adherirse a HDLC. Desde 1981, ITU-T ha desarrollado una serie de protocolos denominados protocolos de nivel de acceso (LAP: LAPB, LAPD, LAPM, LAPX, etc.), todos basados en HDLC. Otros protocolos desarrollados por ITU-T y ANSI (como Frame Relay, PPP, etc.) también derivan de HDLC, como lo hacen la mayoría de los protocolos de control de acceso a LAN. Resumiendo, todos los protocolos orientados a bit que se usan actualmente derivan de, o tienen sus orígenes en, HDLC. Por ello, a través de HDLC se pueden comprender los restantes protocolos.

> Todos los protocolos orientados a bit están relacionados con el protocolo de control de enlace de datos de alto nivel (HDLC), un protocolo orientado a bit publicado por ISO. HDLC soporta los modos semidúplex y dúplex en configuraciones punto a punto y multipunto.

HDLC

HDLC es un protocolo de enlace de datos orientados a bit diseñado para soportar la comunicación semidúplex y dúplex a través de enlaces punto a punto y multipunto. Los sistemas que usan HDLC se pueden clasificar según sus tipos de estación, sus configuraciones y sus modos de respuesta.

Tipos de estación

HDLC distingue entre tres tipos de estaciones: primaria, secundaria y combinada.

Una **estación primaria** funciona en HDLC en la misma forma que los dispositivos primarios tratados en el control de flujo del Capítulo 10. El primario de una configuración de línea punto a punto o multipunto es el dispositivo que tiene todo el control del enlace. El primario envía órdenes a las **estaciones secundarias.** Un primario envía órdenes; un secundario envía respuestas.

Una **estación combinada** puede enviar órdenes y respuestas. Una estación combinada es una entre un conjunto de dispositivos iguales conectados entre sí programados para comportarse como primario o como secundario dependiendo de la naturaleza y dirección de la transmisión.

> Las estaciones en HDLC son de tres tipos: primaria, secundaria y combinada. Una estación primaria envía órdenes. Una estación secundaria envía respuestas. Una estación combinada envía órdenes y respuestas.

Configuraciones

La palabra *configuración* designa la relación entre los dispositivos hardware de un enlace. Las estaciones primarias, secundarias y combinadas se pueden configurar de tres formas: desbalanceada, simétrica y balanceada (véase la Figura 11.14). Cualquiera de estas tres configuraciones puede soportar tanto transmisión en modo semidúplex como dúplex.

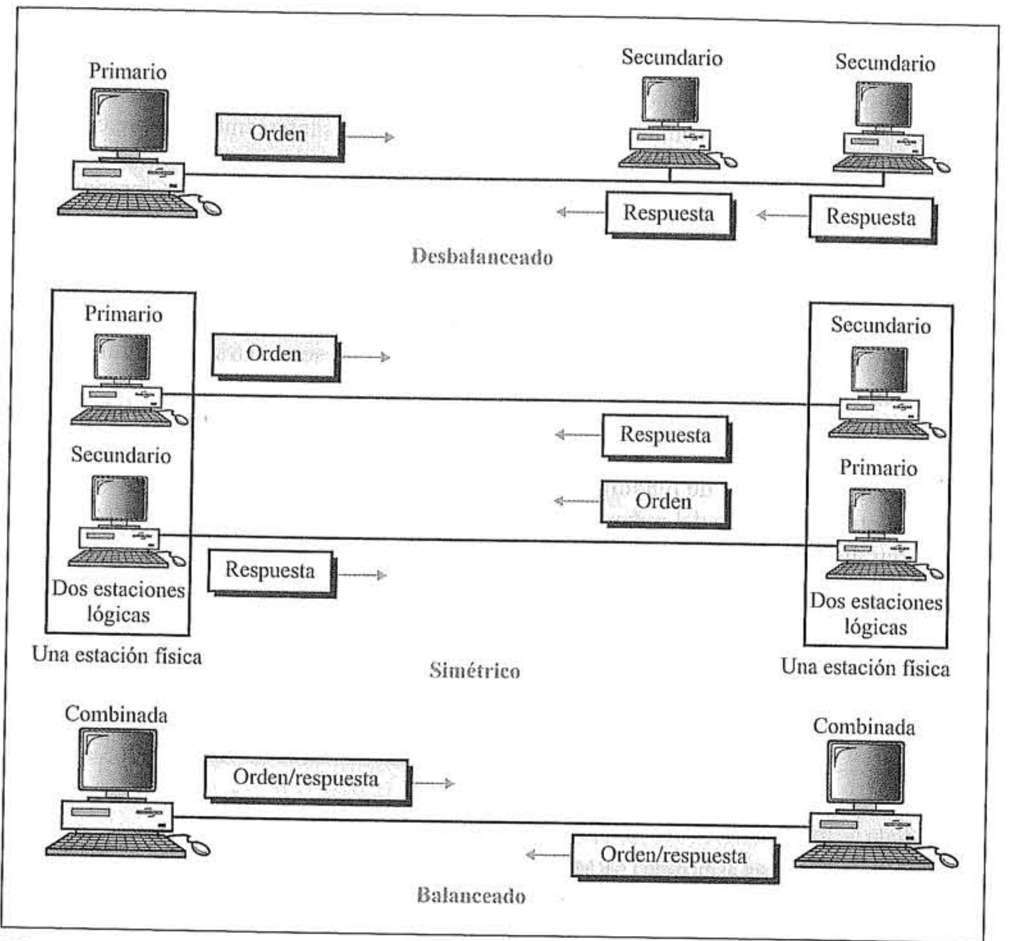


Figura 11.14. *Configuraciones de HDLC.*

Una **configuración desbalanceada** (también denominada configuración maestro-esclavo) es aquella en la cual un dispositivo es primario y los otros son secundarios. Las configuraciones desbalanceadas pueden ser punto a punto si únicamente hay dos dispositivos; más a menudo suelen ser multipunto, en las cuales un primario controla varios secundarios.

Una **configuración simétrica** es aquella en la cual cada estación física de un enlace está formada por dos estaciones lógicas, una primaria y la otra secundaria. Líneas distintas enlazan el aspecto primario de una estación física al aspecto secundario de la otra. Una configuración simétrica se comporta como una configuración desbalanceada excepto que el control del enlace puede desplazarse entre las dos estaciones.

Una **configuración balanceada** es aquella en la cual ambas estaciones en una topología punto a punto son de tipo combinado. Las estaciones están enlazadas por una única línea que puede ser controlada por cualquier estación.

HDLC no proporciona multipunto balanceado. Por ello, fue necesario inventar protocolos de acceso al medio para LAN.

Modos de comunicación

Un modo en HDLC es la relación entre dos dispositivos involucrados en el intercambio; el modo describe quién controla el enlace. Los intercambios en configuraciones desbalanceadas son siempre llevadas a cabo en modo de respuesta normal. Los intercambios sobre configuraciones simétricas o balanceadas pueden definirse con modos específicos usando una trama diseñada para entregar la orden (que se trata en la sección de tramas U). HDLC proporciona tres modos de comunicación entre estaciones: modo de respuesta normal (NRM), modo de respuesta asíncrono (ARM) y modo asíncrono balanceado (ABM).

NRM. El **modo de respuesta normal (NRM)** designa la relación estándar primario secundario. En este modo, un dispositivo secundario debe obtener permiso del primario antes de transmitir. Una vez que se ha garantizado este permiso, el secundario puede iniciar una transmisión de respuesta de una o más tramas que contengan datos.

ARM. En el **modo de respuesta asíncrono (ARM),** un secundario puede iniciar una transmisión sin permiso del primario siempre que el canal esté libre. ARM no altera la relación primario-secundario de ninguna otra forma. Todas las transmisiones de un secundario (incluso a otro secundario del mismo enlace) se deben seguir haciendo al primario para que éste las retransmita a su destino final.

ABM. En el **modo balanceado asíncrono (ABM),** todas las estaciones son iguales y, por tanto, solamente se usan estaciones combinadas conectadas punto a punto. Cada estación combinada puede iniciar una transmisión con otras estaciones combinadas sin esperar permiso.

La Figura 11.15 muestra las relaciones entre los modos y los tipos de estación.

Modos:

- Modo de respuesta normal (NRM, *Normal Response Mode*)
- Modo de respuesta asíncrono (ARM, *Asynchronous Response Mode*)
- Modo balanceado asíncrono (ABM, *Asynchronous Balanced Mode*)

Tramas

Para proporcionar la flexibilidad necesaria para soportar todas las opciones posibles en los modos y configuraciones descritas anteriormente, HDLC define tres tipos de tramas: **tramas de información (tramas I), tramas de supervisión (tramas S)** y **tramas sin numeración (tramas U);** véase la Figura 11.16. Cada tipo de trama funciona como una envoltura para la transmisión de un tipo de mensaje distinto. Las tramas I se usan para transportar datos de usuario e información de control relacionada con los datos de usuario. Las tramas S se usan únicamente para transportar información de control, relacionada principalmente con el flujo de datos del nivel de enlace y el control de errores. Las tramas U están reservadas para la gestión del sistema. La información transportada por las tramas U sirve para gestionar el enlace en sí mismo.

	NRM	ARM	ABM
Tipo de estación	Primaria y secundaria	Primaria y secundaria	Combinada
Iniciador	Primaria	Cualquiera	Cualquiera

Figura 11.15. *Modos HDLC.*

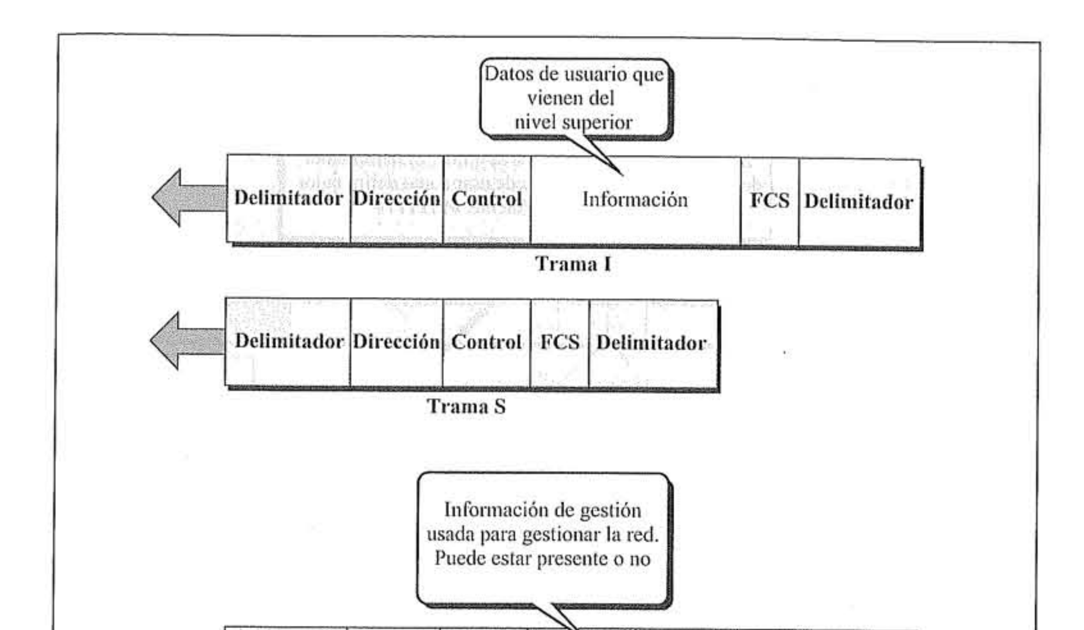


Figura 11.16. *Tipos de trama de HDLC.*

Cada trama en HDLC puede contener hasta seis campos: un campo de comienzo, un campo dirección, un campo de control, un campo de información, un campo de secuencia de comprobación de trama (FCS) y un campo de terminación. En las transmisiones de múltiples tramas, el **delimitador** final de una trama puede ser doble para incluir el delimitador de comienzo y la trama siguiente.

Campo de delimitación

El campo de delimitación de una trama HDLC es una secuencia de ocho bits con un patrón de bits 01111110 que identifica tanto el principio como el final de una trama y sirve como patrón de sincronización para el receptor. La Figura 11.17 muestra la situación de dos campos de delimitación en una trama I.

El campo de delimitación es lo más parecido que HDLC tiene a un carácter de control que podría ser confundido por el receptor. Por tanto, el campo de delimitación es también la única causa de problemas de transparencia potenciales en HDLC. Una vez que una estación encuentra un delimitador en la línea, determina que la trama es para ella y comienza la lectura de la

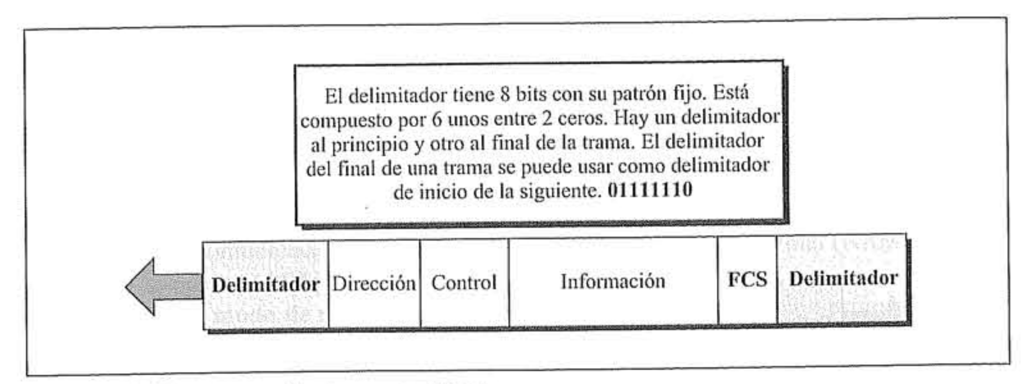


Figura 11.17. *Campo de etiqueta de HDLC.*

transmisión, esperando a que llegue el siguiente delimitador que significa el fin de trama. Siempre es posible que una secuencia de bits, tanto de información de control como de datos, pudiera contener el patrón 01111110. Si esto ocurriera en los datos, por ejemplo, el receptor lo detectaría y asumiría que se ha alcanzado el fin de trama (con resultados desastrosos).

Para garantizar que no aparece un delimitador de forma inadvertida en cualquier otra parte de la trama, HDLC usa un proceso denominado **relleno de bit.** Cada vez que un emisor quiere transmitir una secuencia de bits que tiene más de cinco unos consecutivos, HDLC inserta (rellena) un 0 redundante después del quinto 1. Por ejemplo, la secuencia 011111111000 se convierte en 0111110111000. Este 0 extra se inserta sin tener en cuenta si el sexto bit es otro 1 o no. Su presencia le dice al receptor que la secuencia actual no es una etiqueta. Una vez que el receptor ha visto el 0 de relleno, este se quita de los datos y se restaura el flujo de bits original.

> El relleno de bit es el proceso de añadir un 0 extra cada vez que se encuentran cinco unos consecutivos en los datos, de forma que el receptor no pueda confundir los datos con un delimitador.

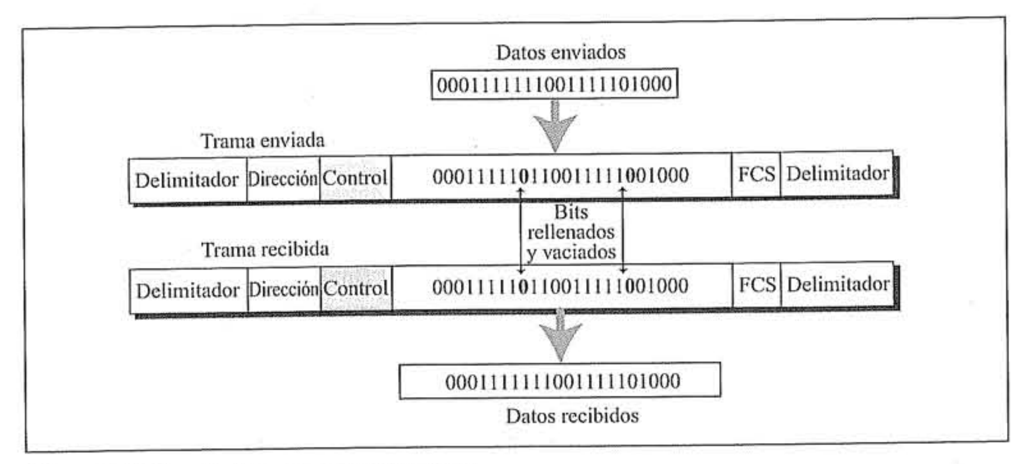


Figura 11.18. *Relleno y eliminación de bit.*

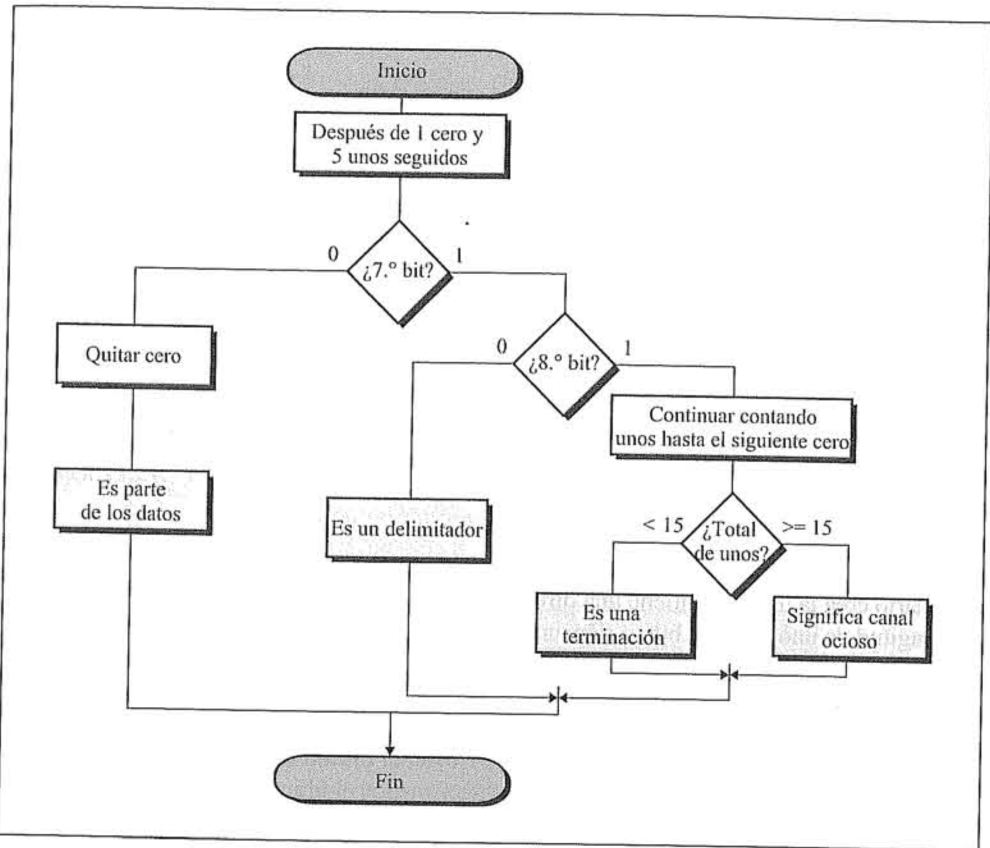


Figura 11.19. *Relleno de bit en HDLC.*

La Figura 11.18 muestra cómo se lleva a cabo el relleno de bit en el emisor y cómo se elimina en el receptor. Observe que, aunque haya un 0 después de los cinco 1, se sigue rellenando con un 0. El 0 se eliminará en el receptor.

El relleno de bit es necesario siempre que aparecen cinco unos consecutivos, excepto en tres situaciones. Las excepciones se producen cuando la secuencia de bits es realmente un delimitador, cuando se está adoptando la transmisión y cuando se está liberando el canal. El diagrama de flujo de la Figura 11.19 muestra el proceso que se sigue en el receptor para identificar y descartar los bits de relleno. A medida que el receptor lee los bits que llegan, cuenta los 1s. Cuando encuentra cinco 1s consecutivos y después un 0, comprueba el siguiente bit (el séptimo). Si el séptimo bit es un 0, el receptor le reconoce como un bit de relleno, lo descarta y reinicia su contador. Si el séptimo bit es un 1, el receptor comprueba el octavo bit. Si el octavo bit es un 0, la secuencia se reconoce como un delimitador y se trata de forma acorde. Si el octavo bit es otro 1, el receptor sigue contando. Un total de 7 a 14 unos consecutivos indican abortar. Un total de 15 o más unos indican liberación de canal.

Campo de dirección

El segundo campo de una trama HDLC contiene la dirección de la estación secundaria que es origen o destino de la trama (o de la estación que actúa como secundaria en el caso de esta-

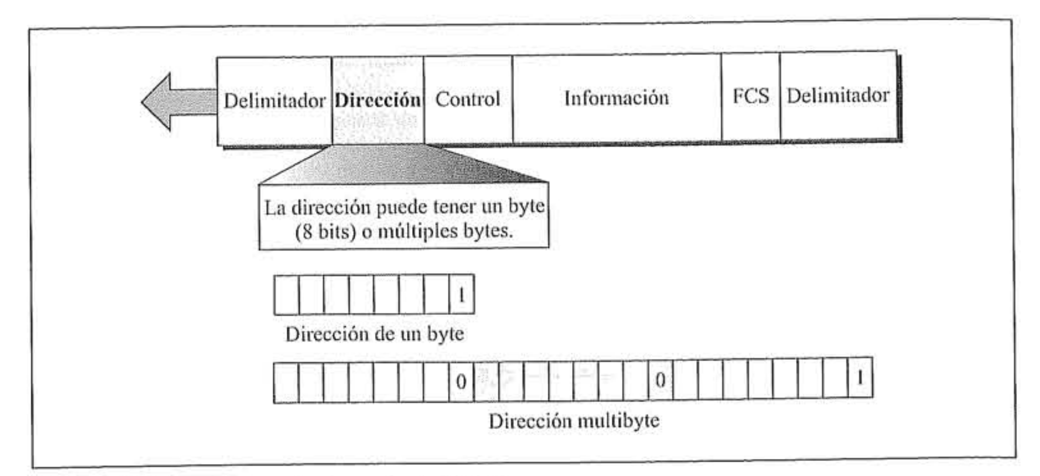


Figura 11.20. *Campo de dirección de HDLC.*

ciones combinadas). Si una estación primaria crea una trama, contiene una dirección *a*. Si un secundario crea la trama, contiene una dirección *desde*. Un **campo de dirección** puede tener una longitud de uno o varios bytes, dependiendo de las necesidades de la red. Un byte puede identificar hasta 128 estaciones (porque un bit se usa para otros propósitos). Las redes más grandes necesitan campos de dirección multibyte. La Figura 11.20 muestra el campo de direcciones en relación con el resto de la trama.

Si el campo de dirección es únicamente de 1 byte, el último bit es siempre 1. Si el campo de dirección es de más de 1 byte, todos los bytes menos el último terminarán con 0; solamente el último termina con un 1. Terminando cada byte intermedio con un 0 se indica al receptor que va a recibir más bytes de direcciones.

Campo de control

El campo de control es un segmento de uno o dos bytes de la trama que se usa para gestión de flujo. Vamos a estudiar en primer lugar el caso de 1 byte y a continuación se verá el caso de 2 bytes, también denominado modo extendido.

Los campos de control son distintos dependiendo del tipo de trama. Si el primer bit del campo de control es 0, la trama es una trama I. Si el primer bit es un 1 y el segundo bit es 0, es una trama S. Si ambos, tanto el primero como el segundo bit son 1, es una trama U. Los campos de control de los tres tipos de tramas contienen un bit denominado el **bit sondeo/final (P/F,** *poll/final*) (tratado a continuación).

Una trama I contiene dos secuencias de 3 bits para control de flujo y de errores denominadas N(S) y N(R), que flanquean el bit P/F. N(S) especifica el número de trama enviado (su propio número de identificación). N(R) es el campo de reconocimiento. Si la última trama recibida no tenía errores, el número N(R) será el de la trama siguiente en la secuencia. Si la última trama no se recibió correctamente, el número N(R) será el número de la trama dañada, indicando así la necesidad de su retransmisión.

El campo de control de una trama S contiene un campo N(R) pero no un campo N(S). Las tramas S se usan para devolver N(R) cuando el receptor no tiene datos para enviar. En otro caso, el reconocimiento se incluye en el campo de control de la trama I (encima). Las tramas S no transmiten datos y, por tanto, no necesitan campos N(S) para identificarlas. Los dos bits

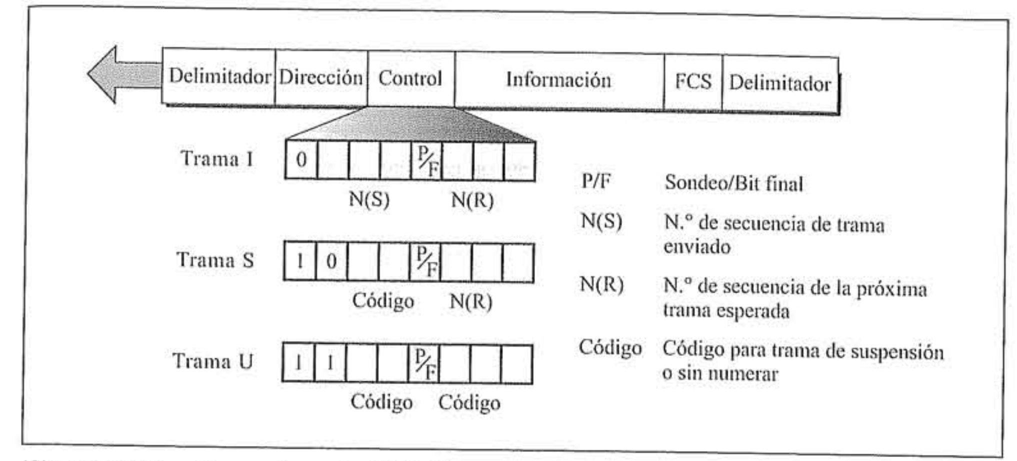


Figura 11.21. *Campo de control HDLC.*

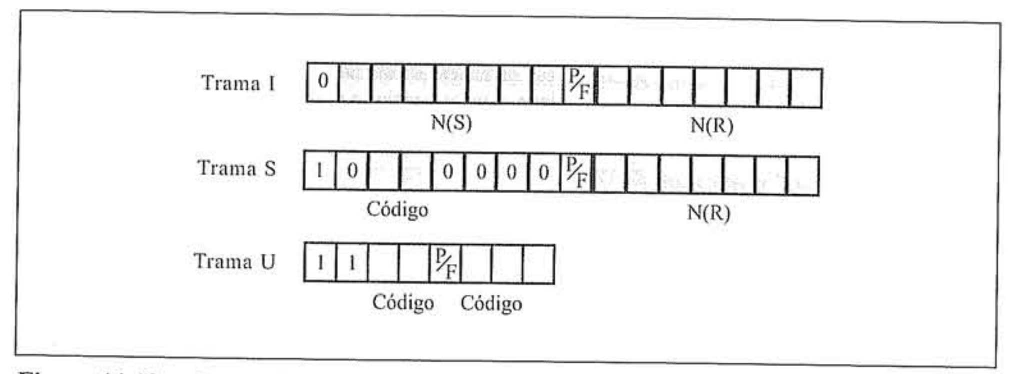


Figura 11.22. *Campo de control en el modo extendido de HDLC.*

que preceden al bit P/F en una trama S se usan para transportar información codificada de control de flujo y error, que se tratará posteriormente en este capítulo.

Las tramas U no tienen campos N(S) ni N(R) y no se han diseñado para intercambiar datos de usuario o reconocimiento. En lugar de ello, las tramas U tienen dos campos codificados, uno con dos bits y otro con tres, que flanquean el bit P/F. Estos códigos se usan para identificar el tipo de trama y su función (por ejemplo, establecer el modo de un intercambio). Los campos de control de los tres tipos de tramas se muestran en la Figura 11.21.

La Figura 11.22 muestra los campos de control del modo extendido. Observe que en el modo extendido, el campo de control de la trama I y la trama S son de dos bytes de longitud para permitir un número de secuencia de siete bits para el emisor y el receptor (el número de secuencia está entre 0 y 127). Sin embargo, el campo de control de la trama U sigue siendo de un byte.

El campo P/F es un único bit con un propósito doble. Solamente tiene significado cuando está activo (bit = 1) y puede significar sondeo o final. Significa sondeo cuando la trama ha sido enviada desde una estación primaria a una secundaria (cuando el campo dirección contiene la dirección del receptor). Significa final cuando la trama se envía de un secundario a un primario (cuando el campo dirección contiene la dirección del emisor); véase la Figura 11.23.

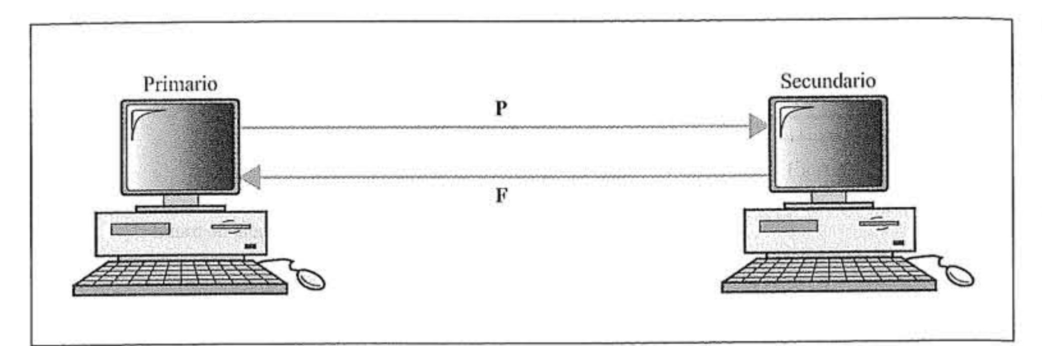


Figura 11.23. *Campo sondeo/final en HDLC.*

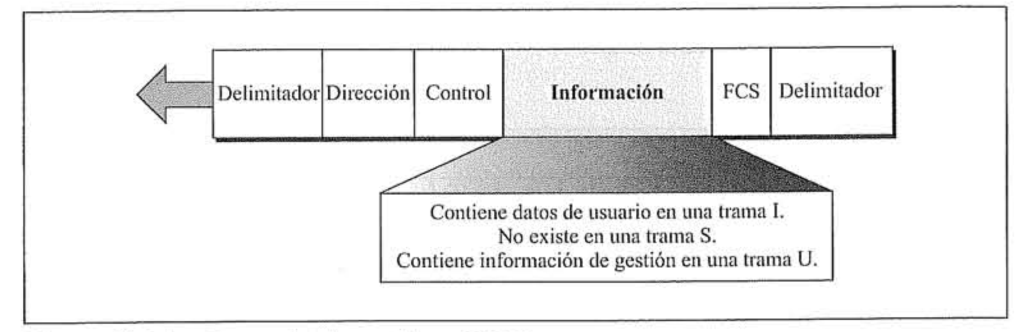


Figura 11.24. *Campo de información en HDLC.*

Campo de información

El campo de información contiene los datos de usuario en una trama I e información de gestión de red en una trama U (véase la Figura 11.24). Su longitud puede variar de una red a otra pero es siempre fija dentro de la misma red. Una trama S no tiene campo de información.

Como ya se ha visto en varios casos anteriormente, es posible incluir información de control de flujo, de error y de otro tipo en una trama I que también contenga datos. Por ejemplo, en un intercambio de datos en dos sentidos (bien en modo semidúplex o dúplex), la estación 2 puede reconocer la recepción de datos de la estación 1 en el campo de control de su propia trama de datos en lugar de enviar una trama separada para el reconocimiento. La combinación de datos para que sean enviados junto con la información de control es lo que se denomina **incorporación de confirmación** (*piggybacking*).

> La incorporación de confirmación significa combinar en una única trama los datos a enviar con el reconocimiento de la trama recibida.

Campo FCS

El campo de **secuencia de comprobación de trama (FCS)** es el campo de detección de error de HDLC. Puede contener un CRC de dos o cuatro bytes (véase la Figura 11.25).

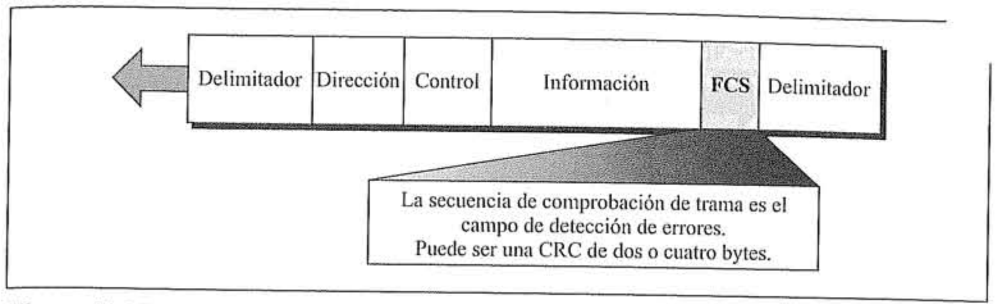


Figura 11.25. *Campo de secuencia de comprobación de trama (FCS) en HDLC.*

Más sobre las tramas

De los tres tipos de trama que se usan en HDLC, la trama I es la más clara. Las tramas I se diseñaron para transportar información de usuario y reconocimientos incorporados y nada más. Por esta razón, el rango de variación de las tramas I es pequeño; todas las diferencias están relacionadas con los datos (contenido y CRC), con el número de identificación de trama o con los reconocimientos de las tramas recibidas (ACK o NAK).

Sin embargo, las tramas S y las tramas U contienen subcampos dentro de sus campos de control. Como se vio en la discusión de los campos de control, estos subcampos llevan códigos que alteran el significado de la trama. Por ejemplo, una trama S codificada para rechazo selectivo (SREJ) no se puede usar en el mismo contexto que una trama S codificada con lista para recibir (RR). En esta sección se examinan los distintos tipos y usos de las tramas S y U.

Tramas S

Las tramas de supervisión se usan para reconocimiento, control de flujo y control de errores siempre que la incorporación de confirmación de esa información en una trama I sea imposible o inapropiada (bien cuando la estación no tiene datos o necesita enviar una orden o respuesta distinta de un reconocimiento). Las tramas S no tienen campos de información, porque cada uno de ellos lleva mensajes a la estación receptora. Estos mensajes se basan en el tipo de trama S y en el contexto de la transmisión. El tipo de cada trama S se determina mediante un código de dos bits dentro de su campo de control, justo antes del bit P/F. Hay cuatro tipos de tramas S: listo para recibir (RR), no listo para recibir (RNR), rechazo (REJ) y rechazo selectivo (SREJ); véase la Figura 11.26.

Listo para recibir. Una trama S que contiene el código RR (00) se puede usar de cuatro formas posibles, cada una con un significado distinto.

- **ACK.** RR es usada por una estación receptora para devolver un reconocimiento positivo de una trama I recibida cuando el receptor no tiene datos para enviar (no hay trama I en la que hacer incorporación del reconocimiento). En este caso, el campo N(R) de la trama de control contiene el número de secuencia de la siguiente trama que espera el receptor. En un campo de control de un byte, un campo N(R) tiene tres bits, permitiendo reconocer hasta 8 tramas. En un campo de control de modo extendido, un campo N(R) tiene 7 bits permitiendo reconocer hasta 128 tramas.
- **Sondeo.** Cuando el primario (o alguien actúa como primario en una estación combinada) transmite un RR con un bit P/F (ahora funciona como el **sondeo** o **bit P**), le está preguntando al secundario si tiene algo que enviar.

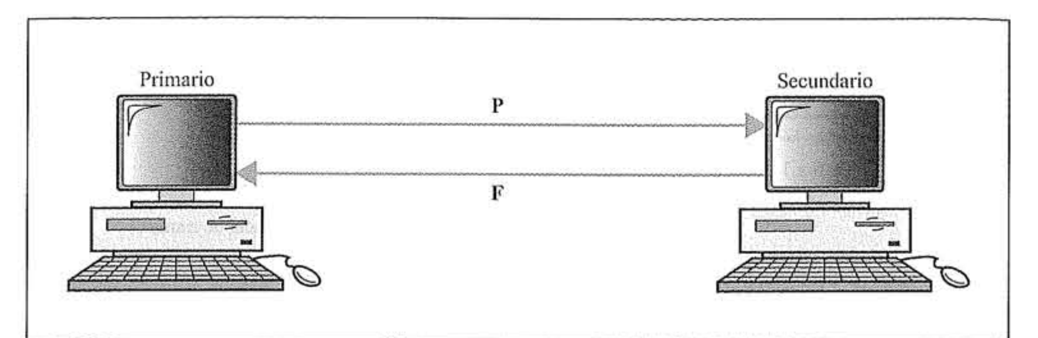


Figura 11.23. *Campo sondeo/final en HDLC.*

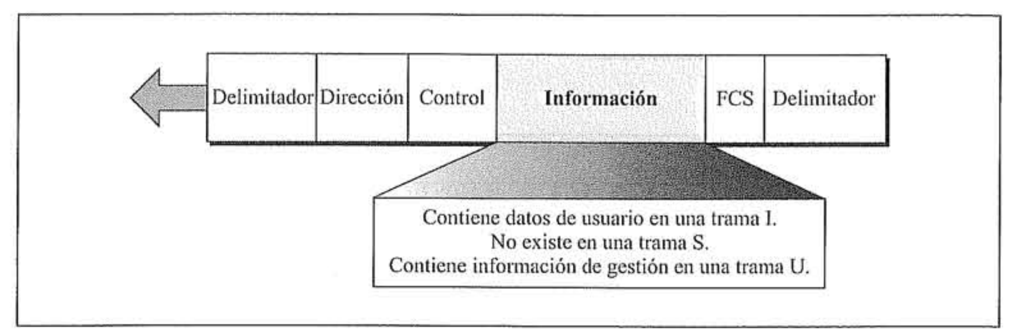


Figura 11.24. *Campo de información en HDLC.*

Campo de información

El campo de información contiene los datos de usuario en una trama I e información de gestión de red en una trama U (véase la Figura 11.24). Su longitud puede variar de una red a otra pero es siempre fija dentro de la misma red. Una trama S no tiene campo de información.

Como ya se ha visto en varios casos anteriormente, es posible incluir información de control de flujo, de error y de otro tipo en una trama I que también contenga datos. Por ejemplo, en un intercambio de datos en dos sentidos (bien en modo semidúplex o dúplex), la estación 2 puede reconocer la recepción de datos de la estación 1 en el campo de control de su propia trama de datos en lugar de enviar una trama separada para el reconocimiento. La combinación de datos para que sean enviados junto con la información de control es lo que se denomina **incorporación de confirmación** (*piggybacking*).

> La incorporación de confirmación significa combinar en una única trama los datos a enviar con el reconocimiento de la trama recibida.

Campo FCS

El campo de **secuencia de comprobación de trama (FCS)** es el campo de detección de error de HDLC. Puede contener un CRC de dos o cuatro bytes (véase la Figura 11.25).

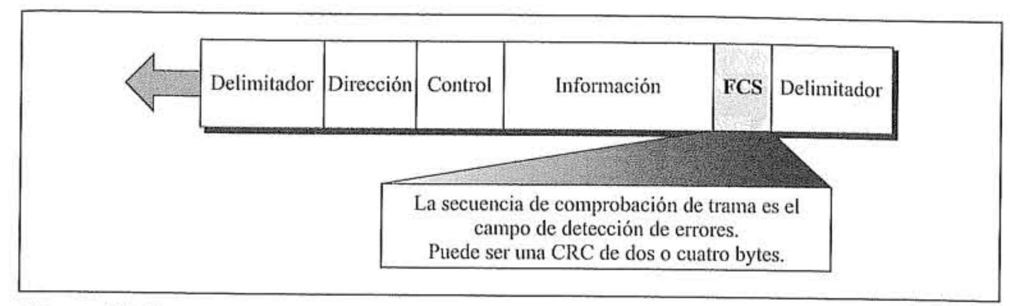


Figura 11.25. *Campo de secuencia de comprobación de trama (FCS) en HDLC.*

Más sobre las tramas

De los tres tipos de trama que se usan en HDLC, la trama I es la más clara. Las tramas I se diseñaron para transportar información de usuario y reconocimientos incorporados y nada más. Por esta razón, el rango de variación de las tramas I es pequeño; todas las diferencias están relacionadas con los datos (contenido y CRC), con el número de identificación de trama o con los reconocimientos de las tramas recibidas (ACK o NAK).

Sin embargo, las tramas S y las tramas U contienen subcampos dentro de sus campos de control. Como se vio en la discusión de los campos de control, estos subcampos llevan códigos que alteran el significado de la trama. Por ejemplo, una trama S codificada para rechazo selectivo (SREJ) no se puede usar en el mismo contexto que una trama S codificada con lista para recibir (RR). En esta sección se examinan los distintos tipos y usos de las tramas S y U.

Tramas S

Las tramas de supervisión se usan para reconocimiento, control de flujo y control de errores siempre que la incorporación de confirmación de esa información en una trama I sea imposible o inapropiada (bien cuando la estación no tiene datos o necesita enviar una orden o respuesta distinta de un reconocimiento). Las tramas S no tienen campos de información, porque cada uno de ellos lleva mensajes a la estación receptora. Estos mensajes se basan en el tipo de trama S y en el contexto de la transmisión. El tipo de cada trama S se determina mediante un código de dos bits dentro de su campo de control, justo antes del bit P/F. Hay cuatro tipos de tramas S: listo para recibir (RR), no listo para recibir (RNR), rechazo (REJ) y rechazo selectivo (SREJ); véase la Figura 11.26.

Listo para recibir. Una trama S que contiene el código RR (00) se puede usar de cuatro formas posibles, cada una con un significado distinto.

- **ACK.** RR es usada por una estación receptora para devolver un reconocimiento positivo de una trama I recibida cuando el receptor no tiene datos para enviar (no hay trama I en la que hacer incorporación del reconocimiento). En este caso, el campo N(R) de la trama de control contiene el número de secuencia de la siguiente trama que espera el receptor. En un campo de control de un byte, un campo N(R) tiene tres bits, permitiendo reconocer hasta 8 tramas. En un campo de control de modo extendido, un campo N(R) tiene 7 bits permitiendo reconocer hasta 128 tramas.
- **Sondeo.** Cuando el primario (o alguien actúa como primario en una estación combinada) transmite un RR con un bit P/F (ahora funciona como el **sondeo** o **bit P**), le está preguntando al secundario si tiene algo que enviar.

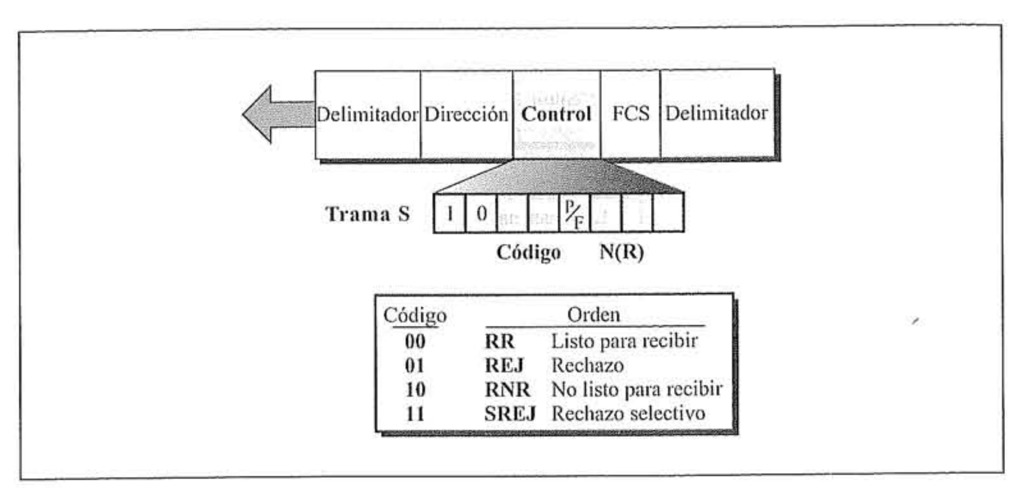


Figura 11.26. *Campo de control de una trama S en HDLC.*

- **Respuesta negativa al sondeo.** Cuando el secundario envía un RR con el bit P/F (ahora funciona como el **final** o el **bit F**), le dice al primario que el secundario no tiene nada que enviar. Si el secundario no tiene datos para transmitir, responde al sondeo con una trama I, no con una trama S.
- **Respuesta positiva a la selección.** Cuando un secundario es capaz de recibir una transmisión del primario, devuelve una trama RR con el bit P/F (usado como F) a 1. (Para una descripción de la selección, vea el RNR a continuación).

Receptor no listo para recibir. Las tramas RNR se pueden usar de tres formas distintas:

- **ACK.** Cuando el RNR es devuelto por un receptor a una estación emisora que reconoce la recepción de todas las tramas enviadas hasta, pero no incluida, la que se indica en el campo N(R), pero solicita que no se envíen más tramas hasta que se envíe una trama RR.
- **Selección.** Cuando un primario desea transmitir datos a un secundario específico, le alerta enviándole una trama RNR con el bit P/F (usado como P) activo. El código RNR le dice al secundario que no envíe datos, ya que la trama es una selección y no un sondeo.
- **Respuesta negativa a selección.** Cuando un secundario seleccionado es incapaz de recibir datos, devuelve una trama RNR con el bit P/F (usado ahora como F) activo.

Rechazo. El tercer tipo de trama S es el de rechazo (REJ). REJ es el reconocimiento negativo devuelto por un receptor en un sistema de corrección de errores con vuelta atrás *n* y ARQ cuando el receptor no tiene datos sobre los que hacer incorporación de la respuesta. En una trama REJ, el campo N(R) contiene el número de trama dañada para indicar que esa trama y todas las siguientes deben ser retransmitidas.

Rechazo selectivo. Una trama de rechazo selectivo (SREJ) es un reconocimiento negativo en un sistema de rechazo selectivo con ARQ. Es enviado por el receptor al emisor para indicar que una trama específica (el número en el campo N(R)) se ha recibido dañada y debe ser reenviada. La Figura 11.27 muestra el uso del bit P/F en el sondeo y la selección.

Tramas U

Las tramas sin números se usan para intercambiar información de control y gestión de la sesión entre dos dispositivos conectados. A diferencia de las tramas S, las tramas U contienen un

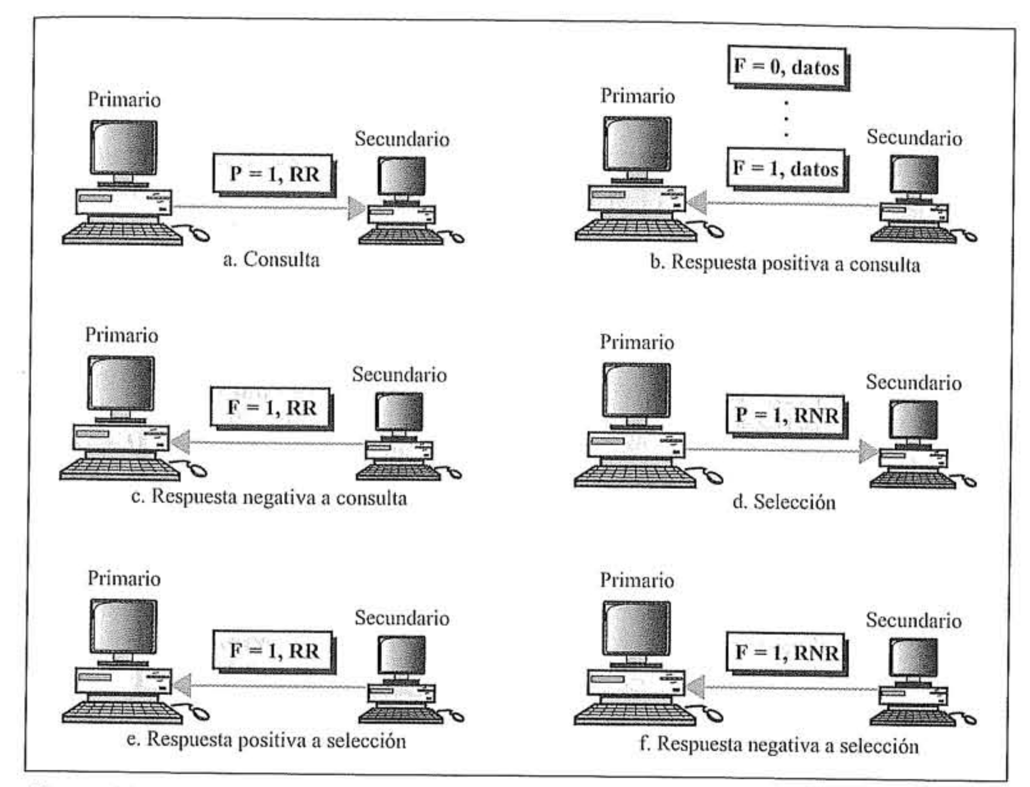


Figura 11.27. *Uso del bit P/F en el sondeo y la selección*

campo de información, pero sólo se usan para información de gestión del sistema y no para datos de usuario. Sin embargo, como ocurre con las tramas S, mucha de la información transportada por las tramas U está contenida en los códigos incluidos en los campos de control. Los códigos de la trama U se dividen en dos secciones: un prefijo de dos bits antes del bit P/F y un sufijo de tres bit después del bit P/F. Juntos, estos dos segmentos (cinco bits) se pueden usar para crear hasta 32 tipos de tramas U. Algunas de las combinaciones más frecuentes se muestran en la Figura 11.28.

Los órdenes y respuestas de una trama U que se listan en la Tabla 11.2 se pueden dividir en cinco categorías funcionales básicas: activación de modo, intercambio sin numerar, desconexión, inicialización y misceláneas.

Activación de modo. Los órdenes de activación de modo son enviados por la estación primaria o por una estación combinada que quiere controlar un intercambio, para establecer el modo de la sesión. Una trama U de activación de modo le dice a la estación receptora qué formato se va a usar en la transmisión. Por ejemplo, si una estación combinada desea establecer una relación temporal primario-secundario con otra estación, le envía una trama U que contiene el código 00001 (para activar modo de respuesta normal). La estación direccionada comprende que está siendo seleccionada para recibir una transmisión (así como de un primario) y se ajusta a sí misma de acuerdo a este mensaje (véase la Tabla 11.2).

Intercambio sin numeración. Los códigos de intercambio sin numeración se usan para enviar o pedir piezas específicas de información del enlace de datos entre distintos dispositi-

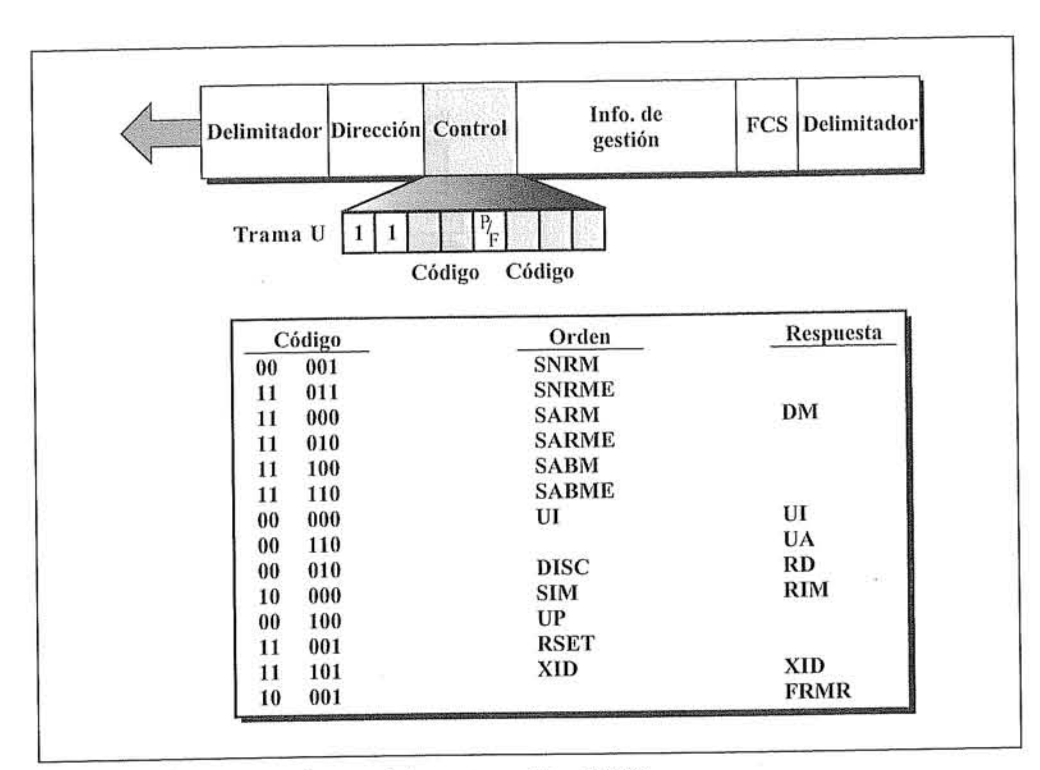


Figura 11.28. *Campo de control de una trama U en HDLC.*

vos. La estación primaria de un enlace (o la estación combinada que actúa como primaria) transmite un código de sondeo sin numeración (UP) (00100) para establecer el estatus de emisión/recepción de la estación destino en un intercambio sin numeración. El código de información sin numerar (UI) (00000) se usa para la transmisión de piezas específicas de información como la hora/fecha para sincronización. Las tramas UI se pueden enviar como órdenes (por ejemplo, una lista de parámetros para la transmisión de entrada) o como respuestas (por ejemplo, una descripción de las capacidades de la estación destino para recibir datos). El código de reconocimiento sin numeración (UA) (00110) es devuelto por la estación destino en respuesta a un sondeo sin numerar, para reconocer una de las tramas de petición sin numerar (por ejemplo, RD: petición de desconexión), o para aceptar una orden de activación de modo (véase la Tabla 11.2).

Desconexión. Hay tres códigos de **desconexión,** uno es una orden desde el sistema que actúa como el primario o estación combinada que actúa como primario, y los otros dos son respuestas de la estación receptora. El primero de ellos, desconectar (DISC, 00010), es enviado por la primera estación a la segunda para terminar la conexión. El segundo, petición de desconexión (RD, 00010), es una petición de la estación secundaria a la primaria para que emita un DISC. El tercero, modo de desconexión (DM, 11000), es transmitido por la estación destino a la estación origen como una respuesta negativa a una orden de activación de modo (véase la Tabla 11.2).

Modo de inicio. El código 10000, usado como una orden (sistema primario al secundario), significa activar el modo de inicio (SIM). SIM prepara a la estación destino para iniciar sus funciones de control de enlace de datos. La orden SIM es seguida por tramas UI que contienen, por ejemplo, un programa nuevo o un conjunto de parámetros nuevo. El mismo código, 10000, usado como una respuesta (sistema secundario al sistema primario) significa una petición de modo de inicio (RIM) y solicita una orden SIM de la estación primaria. Se usa para responder a las órdenes de activación de modo cuando la estación secundaria no puede ejecutar la orden sin recibir primero un SIM (véase la Tabla 11.2).

Misceláneas. De los tres órdenes finales, los dos primeros –reinicio (RSET, 11001) e intercambiar ID (XID, 11101)– son órdenes del sistema origen al sistema destino. El tercero, rechazo de trama (FRMR, 10001) es una respuesta enviada del sistema direccionado al sistema origen.

RSET le indica a la estación secundaria que la estación primaria está reiniciando su numeración de secuencia de envío y le da instrucciones al secundario para que haga lo mismo. Habitualmente se emite en respuesta a un FRMR.

XID pide un intercambio de datos de identificación de la estación secundaria (¿Cuál es tu dirección?).

FRMR le dice al sistema primario que la trama U recibida por el sistema secundario contiene un error de sintaxis (¡No se parece esto a una trama HDLC!). Es devuelto por el sistema destino cuando, por ejemplo, una trama se identifica como trama S pero contiene un campo de información (véase la Tabla 11.2).

Tabla 11.2. *DS y tasas de líneas T*

Orden/Respueta	*Significado*
SNRM	Activación de modo de respuesta normal
SNRME	Activación de modo de respuesta normal (ampliado)
SARM	Activación de modo de respuesta asíncrona
SARME	Activación de modo de respuesta asíncrona (ampliada)
SABM	Activación de modo de respuesta asíncrona balanceada
SABME	Activación de modo de respuesta asíncrona balanceada (ampliada)
UP	Sondeo sin numerar
UI	Información sin numerar
UA	Reconocimiento sin numerar
RD	Petición de desconexión
DISC	Desconexión
DM	Modo de desconexión
RIM	Modo de petición de información
SIM	Activación de modo de iniciación
RSET	Reinicio
XID	Intercambio de ID
FRMR	Rechazo de trama

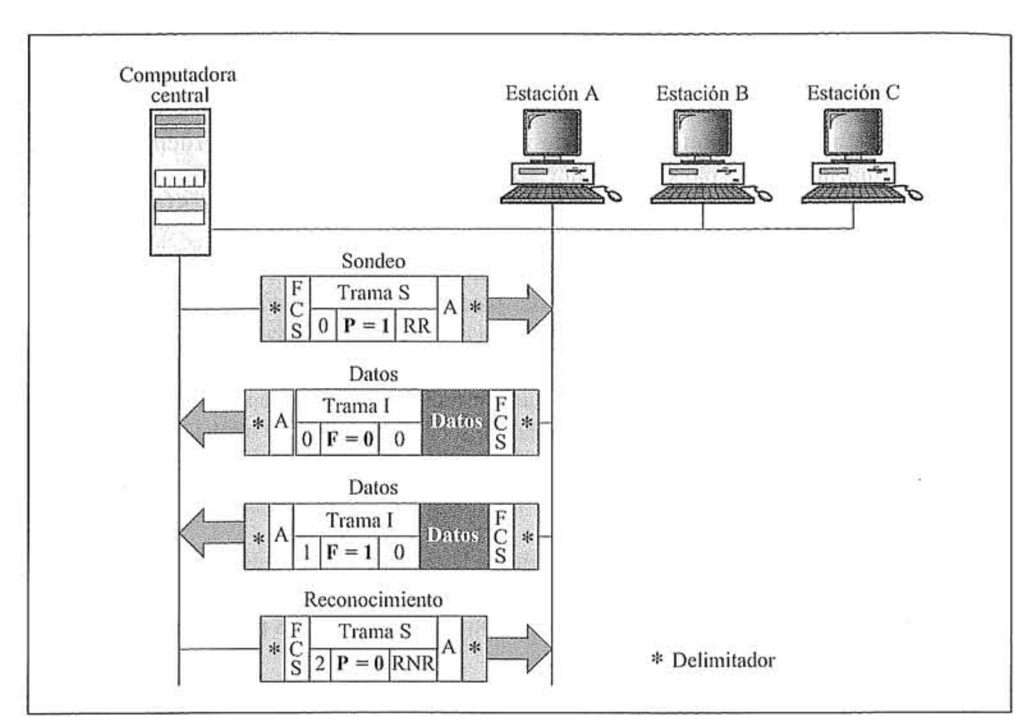


Figura 11.29. *Ejemplo de sondeo usando HDLC.*

Ejemplos

Esta sección muestra algunos ejemplos de comunicación usando HDLC.

Ejemplo 11.1: Sondeo/respuesta

En la Figura 11.29, el dispositivo primario (la computadora central) de un enlace multipunto muestrea al dispositivo secundario (A) con una trama S que contiene códigos de sondeo. En primer lugar va el campo delimitador, seguido por la dirección del secundario que está siendo sondeado, en este caso A. El tercer campo, control, contiene el código que identifica la trama como una trama S seguida por los códigos indicando el estatus RR (listo para recibir) del emisor, el bit P/F activado para sondeo y un campo N(R) = 0. Después del campo de control viene el código de detección de error (FCS) y el campo delimitador final.

La estación A tiene datos para enviar, por lo que responde con dos tramas I numeradas 0 y 1. La segunda de estas tiene el bit P/F activado para *final* para indicar el fin de datos. El primario reconoce ambas tramas de una vez con una trama S que contiene el número 2 en su campo N(R) para decirle a la estación A que las tramas 0 y 1 se han recibido y que si A envía tramas adicionales, el primario espera que llegue a continuación el número 2.

Ejemplo 11.2: Selección/respuesta

Este ejemplo usa la misma configuración multipunto para mostrar cómo un dispositivo primario selecciona un dispositivo secundario, la estación B, para que reciba una transmisión (véase la Figura 11.30).

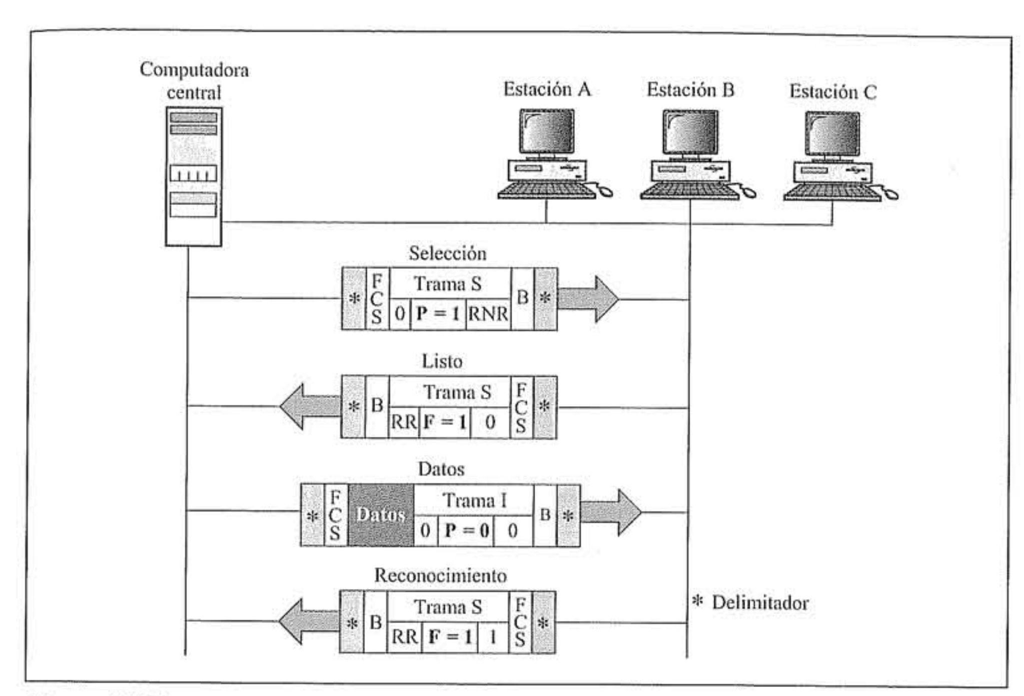


Figura 11.30. *Ejemplo de selección usando HDLC.*

En primer lugar, el primario envía una trama S a la estación B que contiene los códigos para la selección. La trama selección es idéntica a la trama de sondeo del ejemplo anterior, excepto que el estatus RR en el campo de control se ha cambiado por RNR, lo que indica al secundario que esté preparado pero no envíe. La estación B responde con otra trama S, direccionada desde B, que contiene el código para RR y el bit final activo, para indicar que la estación está lista para recibir y que esta trama es la última.

El primario envía una trama I que contiene sus datos. La trama tiene la dirección de B, el campo N(S) lo identifica como la trama número 0, el bit P no está activo para indicar que la trama no es un sondeo y el campo N(R) indica que si se devuelve una trama I, también se espera que sea el número 0. La estación B responde con una trama RR con un propósito doble: el bit final activo le dice al primario que B no tiene nada que enviar, y el 1 en el campo N(R) reconoce la recepción de la trama 0 e indica que B espera recibir a continuación la trama 1.

Ejemplo 11.3: Dispositivos iguales entre sí (paritorios)

El ejemplo de la Figura 11.31 muestra un intercambio en el modo balanceado asíncrono (ABM) usando reconocimientos con incorporación de confirmación. Las dos estaciones son del mismo estatus y se conectan mediante un enlace punto a punto.

La estación A envía una trama U que contiene el código SABM para establecer un enlace en modo balanceado asíncrono. El bit P está activo para indicar que la estación A espera controlar la sesión y transmitir primero. La estación B acepta la petición devolviendo una trama U que contiene el código para UA, con el bit F activo. Al ponerse de acuerdo para transmitir en modo balanceado asíncrono, ambas estaciones son ahora de tipo combinado, en lugar de primario-secundario, por lo que el bit P/F ya no es válido y se puede ignorar en las tramas subsiguientes.

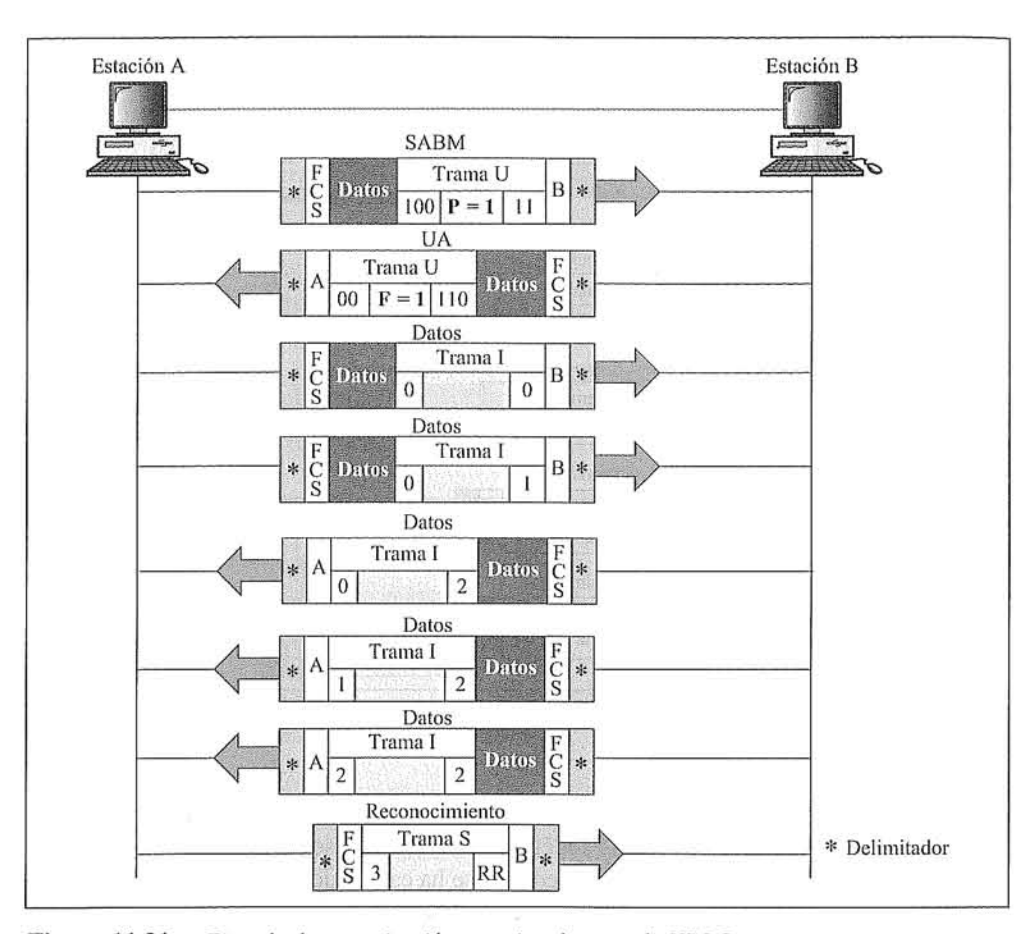


Figura 11.31. *Ejemplo de comunicación entre iguales usando HDLC.*

La estación A comienza el intercambio de información con una trama I numerada con 0 seguida por otra trama I con número 1. La estación B hace incorporación de su reconocimiento de ambas tramas dentro de una de sus propias tramas I. La primera trama I de la estación B también tiene el número 0 (campo N(S)) y contiene un 2 en su campo N(R), con lo que reconoce la recepción de las tramas 1 y 0 de A que indica que espera recibir a la trama 2. La estación B transmite su segunda y tercera tramas I (con números 1 y 2) antes de aceptar más tramas de la estación A. Por tanto, su información N(R) no ha cambiado: las tramas de B 1 y 2 indican que la estación B sigue esperando que la trama 2 de A llegue a continuación.

La estación A ha enviado todos sus datos. Por tanto, no puede devolver un reconocimiento dentro de una trama I y envía en su lugar una trama S. El código RR indica que A todavía sigue listo para recibir. El número 3 en el campo N(R) indica a B que las tramas 0, 1 y 2 se han aceptado y que A está esperando actualmente la trama con número 3.

Ejemplo 11.4: Comunicación entre paritorios con error

Suponga que en el ejemplo anterior la trama 1 enviada de la estación B a la estación A tiene errores. La estación A debería informar a la estación B para que reenvíe las tramas 1 y 2 (el sistema usa un protocolo con vuelta atrás *n*). La estación A envía una trama de supervisión de rechazo para anunciar el error en la trama 1. La Figura 11.32 muestra esta situación.

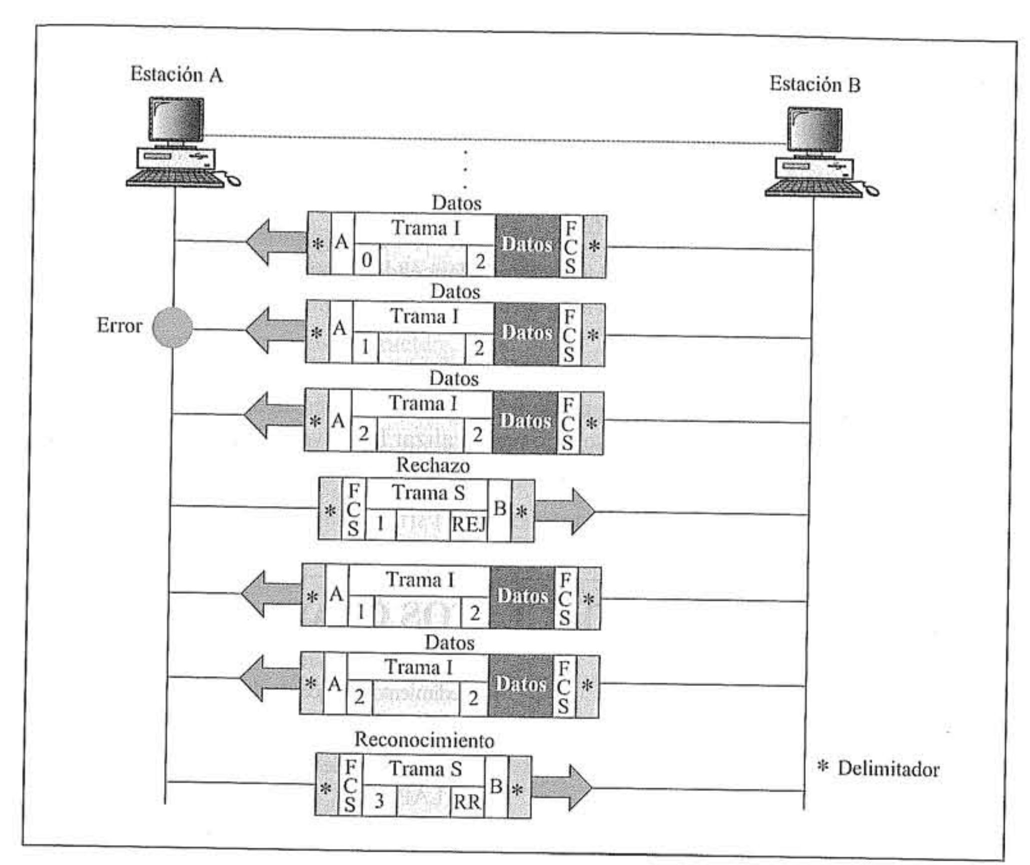


Figura 11.32. *Ejemplo 11.4.*

11.5. PROCEDIMIENTOS DE ACCESO AL ENLACE

Se han desarrollado varios protocolos bajo la categoría general de **procedimientos de acceso al enlace (LAP,** *link access procedure*). Todos estos protocolos son subconjuntos de HDLC adaptados para suplir objetivos específicos. Los más frecuentes de entre ellos son LAPB, LAPD y LAPM.

LAPB

El **procedimiento balanceado de acceso al enlace (LAPB)** es un subconjunto simplificado de HDLC que se usa únicamente para conectar una estación a una red. Por tanto, proporciona únicamente aquellas funciones básicas de control necesarias para la comunicación entre un DTE y un DCE (por ejemplo, no incluye los caracteres de sondeo y de selección).

LAPB se usa únicamente en las configuraciones balanceadas de dos dispositivos, donde ambos dispositivos son de tipo combinado. La comunicación se realiza siempre en modo balan-

ceado asíncrono. El LAPB se usa actualmente en la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI) con canales B. (Véase el Capítulo 16 donde se trata RDSI.)

LAPD

El **procedimiento de acceso a enlace para canales D (LAPD)** es otro subconjunto simplificado de HDLC que se usa en la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI). Se usa para señalización (control) fuera de banda. Usa modo balanceado asíncrono (ABM).

LAPM

El **procedimiento de acceso al medio para módems (LAPM)** es un subconjunto simplificado de HDLC para módems. Se ha diseñado para realizar la conversión asíncrono-síncrono, detección de errores y retransmisión. Se ha desarrollado para aplicar las características de HDLC a los módems.

11.6. TÉRMINOS Y CONCEPTOS CLAVE

bit de sondeo (P bit)
bit final (F bit)
bit sondeo/selección (bit P/F)
byte
campo de dirección
carácter de control
comunicación síncrona binaria (BSC)
configuración balanceada
configuración desbalanceada
configuración simétrica
contador de comprobación de bloque (BCC)
control de alto nivel del enlace de datos (HDLC)
control síncrono de enlace de datos (SDLC)
delimitador
desconectar
estación combinada
estación primaria
estación secundaria
incorporación de confirmación
Kermit
modo balanceado asíncrono (ABM)
modo de respuesta asíncrono (ARM)
modo de respuesta normal (NRM)
procedimiento balanceado de acceso a enlace (LAPB)
procedimiento de acceso a enlace (LAP)
procedimiento de acceso a enlace para canal D (LAPD)
procedimiento de acceso a enlace para módems (LAPM)
protocolo asíncrono
protocolo orientado a bit
protocolo orientado a byte
protocolo orientado a carácter
relleno de bit
relleno de byte
secuencia de comprobación de trama (FCS)
trama
trama de información (trama I)
trama de supervisión (trama S)
trama S
trama sin numerar (trama U)
trama U
transmisión asíncrona bloqueada (BLAST)
transparencia
XMODEM
YMODEM
ZMODEM

11.7. RESUMEN

- En transmisión de datos un protocolo es un grupo de especificaciones que se usan para implementar uno o más niveles del modelo OSI.
- Los protocolos de enlace de datos se pueden clasificar como síncronos o asíncronos.
- Los protocolos asíncronos como el XMODEM, YMODEM, ZMODEM, BLAST y Kermit se usan para transferencia de archivos.
- Los protocolos síncronos se pueden clasificar en dos grupos:
  a. Protocolos orientados a carácter.
  b. Protocolos orientados a bit.
- En los protocolos orientados a carácter, la trama se interpreta como series de caracteres.
- En los protocolos orientados a bit, cada bit y grupo de bits pueden tener su propio significado.
- La comunicación síncrona binaria (BSC) es el protocolo orientado a carácter mejor conocido.
- BSC opera en modo semidúplex usando parada y espera con ARQ en configuraciones punto a punto o multipunto.
- Hay dos tipos de tramas BSC:
  a. Tramas de control.
  b. Tramas de datos.
- Las tramas de control realizan las siguientes funciones:
  a. Establecer una conexión.
  b. Flujo de control y errores.
  c. Servir una conexión.
- Un patrón de bit del campo de datos de BSC que se parezca a un carácter de control no debe ser reconocido como un carácter de control; debe ser transparente.
- La transparencia de datos en BSC se logra mediante un proceso denominado relleno de byte.
- El relleno de byte involucra la:
  a. Demarcación de una región transparente.
  b. Añadir un DLE (en la región transparente) antes de cada carácter DLE.
- Todos los protocolos orientados a bit están relacionados con el control de alto nivel de enlace de datos (HDLC).
- HDLC opera en modo semidúplex o dúplex en configuración de enlace punto a punto o multipunto.
- Las estaciones HDLC se clasifican como sigue:
  a. Estación primaria—envía órdenes.
  b. Estación secundaria—envía respuestas.
  c. Estación combinada—envía órdenes y repuestas.
- Las estaciones HDLC se configuran como sigue:
  a. Desbalanceadas—un primario, uno o más secundarios.
  b. Simétricas—dos estaciones físicas, cada una capaz de cambiar de primaria a secundaria.
  c. Balanceada—dos estaciones combinadas, cada una con el mismo estatus.

- Las estaciones HDLC se comunican en uno de los tres modos siguientes:
  a. Modo de respuesta normal (NRM)—la estación secundaria necesita permiso para transmitir.
  b. Modo de respuesta asíncrono (ARM)—la estación secundaria no necesita permiso para transmitir.
  c. Modo balanceada asíncrono (ABM)—cualquier estación combinada puede iniciar la transmisión.
- El protocolo HDLC define tres tipos de tramas:
  a. Trama de información (trama I)—para transmisión de datos y control.
  b. Trama de supervisión (trama S)—para control.
  c. Trama sin numerar (trama U)—para control y gestión.
- HDLC gestiona la transparencia de datos añadiendo un 0 siempre que haya cinco 1 consecutivos siguiendo a un 0. A esto se le denomina relleno de bit.

11.8. MATERIAL PRÁCTICO

Preguntas de revisión

1. ¿Qué es la transparencia de datos en BSC?
2. ¿Cuándo debería existir un patrón DLE DLE en BSC?
3. ¿Cuál es la diferencia entre los campos de información en una trama I de HDLC y en una trama U de HDLC?
4. Defina el término **protocolo** en relación a la transmisión de datos.
5. ¿Cómo se dividen los protocolos de enlace de datos en clases? ¿Cuál es la base de esta división?
6. ¿Cómo se usan principalmente los protocolos asíncronos?
7. ¿Por qué los protocolos asíncronos están perdiendo popularidad?
8. ¿Cómo se clasifican los protocolos síncronos? ¿Cuál es la base de esta clasificación?
9. ¿Cómo transportan los protocolos orientados a carácter la información de control?
10. Describa la configuración de línea, el modo de transmisión y los métodos del control de flujo y error usados en BSC.
11. Describa los tipos de tramas BSC.
12. ¿Por qué debería dividirse un mensaje largo de BSC en bloques?
13. ¿Cómo puede un receptor distinguir entre el final de una trama y el final de un mensaje en una transmisión BSC multitrama?
14. ¿Cuáles son los usos de las tramas de control de BSC?
15. Describa los tres tipos de estación de HDLC.
16. Para cada una de las configuraciones de HDLC, describa sus órdenes y respuestas.
17. ¿En qué difieren entre sí los tres tipos de trama de HDLC?
18. En HDLC, ¿qué es el relleno de bit y por qué se necesita?
19. Enumere y describa brevemente los bits en el campo de control de HDLC.
20. ¿Qué es incorporación de confirmación?
21. Enumere los cuatro tipos de tramas S.
22. Enumere las cinco clases de tramas U.
23. ¿En qué difieren entre sí LAPB, LAPD y LAPM?

Preguntas con respuesta múltiple

24. BSC significa _____.
    a. control síncrono binario
    b. comunicación síncrona binaria
    c. comunicación síncrona orientada a bit
    d. comunicación síncrona orientada a byte
25. Una respuesta negativa a un sondeo en BSC es _____.
    a. NAK
    b. EOT
    c. WACK
    d. b y c
26. Una respuesta negativa a una selección en BSC es ____.
    a. NAK
    b. EOT
    c. WACK
    d. b y c
27. En BSC, un receptor responde con _____ si la trama recibida está libre de errores y con numeración par.
    a. un ACK
    b. un ACK 0
    c. un ACK 1
    d. a o b
28. El protocolo BSC usa el modo _____ para la transmisión de datos.
    a. símplex
    b. semidúplex
    c. dúplex
    d. semisímplex
29. Las tramas BSC se pueden clasificar como tramas de datos o tramas de _____.
    a. transmisión
    b. control
    c. comunicación
    d. supervisión
30. En el protocolo BSC, después de un ETB, ETX o ITB sigue un campo ____.
    a. DLE
    b. EOT
    c. BCC
    d. SYN
31. En el protocolo BSC los _____ pueden terminar una transmisión o ser una respuesta negativa a un sondeo.
    a. DLE
    b. ETX
    c. EOT
    d. ETB
32. ¿Cuáles de los siguientes son campos de longitud variable en BSC?
    a. datos
    b. BCC

c. cabecera
d. todos los anteriores

33. HDLC es un acrónimo para _____.
a. comunicación por línea dúplex alta
b. control de alto nivel de enlace de datos
c. combinación de enlace digital semidúplex
d. circuito de nivel doble de computadora

34. El campo de dirección de una trama en el protocolo HDLC contiene la dirección de la estación _____.
a. primaria
b. secundaria
c. terciaria
d. a y b

35. HDLC es un protocolo _____.
a. orientado a carácter
b. orientado a bit
c. orientado a byte
d. orientado a contador

36. BSC es un protocolo _____.
a. orientado a carácter
b. orientado a bit
c. orientado a byte
d. orientado a contador

37. El campo de _____ del protocolo HDLC define el comienzo y el fin de una trama.
a. delimitación
b. dirección
c. control
d. FCS

38. ¿Qué está presente en todos los campos de control de HDLC?
a. el bit P/F
b. N(R)
c. N(S)
d. los bits de código

39. El sondeo y la selección son funciones de la _____ en el protocolo HDLC.
a. trama I
b. trama S
c. trama U
d. a y b

40. En el protocolo HDLC, el significado de los bits sondeo/selección en una trama I depende de _____.
a. la configuración del sistema
b. si la trama es una orden o una respuesta
c. el modo del sistema
d. ninguno de los anteriores

41. La trama más corta en el protocolo HDLC es habitualmente la trama _____.
a. información
b. supervisión

c. gestión
d. ninguno de los anteriores

42. Al envío de datos y reconocimientos en la misma trama, se le denomina _____.
a. incorporación de confirmación
b. empaquetamiento hacia atrás
c. empaquetamiento de confirmación
d. una buena idea

Ejercicios

43. ¿Cuáles son los datos reales en la trama que se muestra en la Figura 11.33?
44. ¿Cuáles son los datos reales en la trama que se muestra en la Figura 11.34?
45. Muestre cómo una trama de respuesta de supervisión de HDLC puede simular cualquiera de las tramas BSC siguientes:
a. ACK 0
b. ACK 1
c. NAK
d. WACK
46. Rellene con bits los datos siguientes:
0001111110111110011110011111001
47. Rellene con bits los datos siguientes:
00011111111111111111111111111111110011111001
48. La trama HDLC de la Figura 11.35 se envía de un primario a un secundario. Responda a las siguientes preguntas:
a. ¿Cuál es la dirección del secundario?
b. ¿Cuál es el tipo de trama?
c. ¿Cuál es el número de secuencia del emisor (si está presente)?
d. ¿Cuál es el número de reconocimiento (si está presente)?
e. ¿Lleva la trama de datos de usuario? Si lo hace, ¿cuál es el valor de los datos?
f. ¿Lleva la trama de datos de gestión? Si lo hace, ¿cuál es el valor de los datos?
g. ¿Cuál es el objetivo de esta trama?

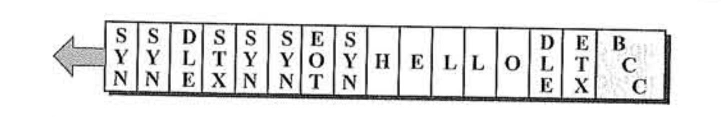


Figura 11.33. *Ejercicio 43.*

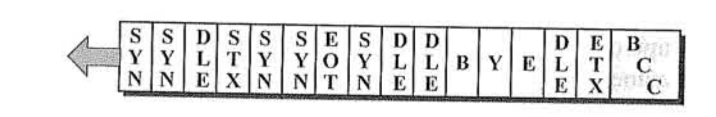


Figura 11.34. *Ejercicio 44.*

01111110 00001111 10001011 FCS 01111110

Figura 11.35. *Ejercicios 48 y 49.*

01111110 00000111 10101011 FCS 01111110

Figura 11.36. *Ejercicios 50 y 51.*

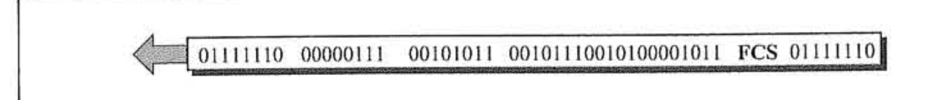


Figura 11.37. *Ejercicio 52.*

49. Repita el Ejercicio 48 cuando la trama se envía de un secundario a un primario.
50. La trama HDLC de la Figura 11.36 se envía de un primario a un secundario. Responda a las cuestiones siguientes:
    a. ¿Cuál es la dirección del secundario?
    b. ¿Cuál es el tipo de trama?
    c. ¿Cuál es el número de secuencia del emisor (si está presente)?
    d. ¿Cuál es el número de reconocimiento (si está presente)?
    e. ¿Lleva la trama datos de usuario? Si lo hace, ¿cuál es el valor de los datos?
    f. ¿Lleva la trama datos de gestión? Si lo hace, ¿cuál es el valor de los datos?
    g. ¿Cuál es el objetivo de la trama?
51. Repita el Ejercicio 50 cuando la trama se envía del secundario a un primario.
52. La trama en la Figura 11.37 se envía de un primario a un secundario. Responda a las cuestiones siguientes:
    a. ¿Cuál es la dirección del secundario?
    b. ¿Cuál es el tipo de trama?
    c. ¿Cuál es el número de secuencia del emisor (si está presente)?
    d. ¿Cuál es el número de reconocimiento (si está presente)?
    e. ¿Lleva la trama datos de usuario? Si lo hace, ¿cuál es el valor de los datos?
    f. ¿Lleva la trama datos de gestión? Si lo hace, ¿cuál es el valor de los datos?
53. La trama en la Figura 11.38 se envía de un primario a un secundario. Responda a las cuestiones siguientes:
    a. ¿Cuál es la dirección del secundario?
    b. ¿Cuál es el tipo de trama?
    c. ¿Cuál es el número de secuencia del emisor (si está presente)?
    d. ¿Cuál es el número de reconocimiento (si está presente)?
    e. ¿Lleva la trama datos de usuario? Si lo hace, ¿cuál es el valor de los datos?
    f. ¿Lleva la trama datos de gestión? Si lo hace, ¿cuál es el valor de los datos?

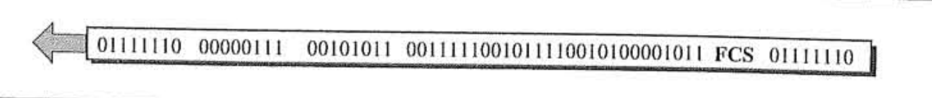


Figura 11.38. *Ejercicio 53.*

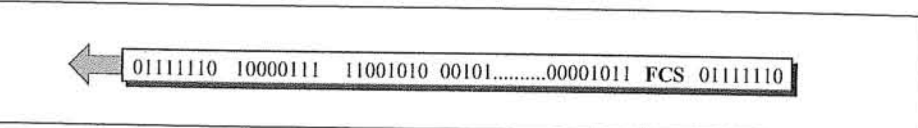


Figura 11.39. *Ejercicio 54.*

54. La trama en la Figura 11.39 se envía de un primario a un secundario. Responda a las cuestiones siguientes:
    a. ¿Cuál es la dirección del secundario?
    b. ¿Cuál es el tipo de trama?
    c. ¿Cuál es el número de secuencia del emisor (si está presente)?
    d. ¿Cuál es el número de reconocimiento (si está presente)?
    e. ¿Lleva la trama datos de usuario? Si lo hace, ¿cuál es el valor de los datos?
    f. ¿Lleva la trama datos de gestión? Si lo hace, ¿cuál es el valor de los datos?
55. Usando BSC, muestre la secuencia de tramas para el siguiente escenario entre dos computadoras en una configuración punto a punto:
    a. La computadora A pide permiso a la computadora B para enviar datos.
    b. La computadora B responde positivamente.
    c. La computadora A envía tres tramas, cada una formada por 4 bloques de 100 bytes.
    d. La computadora B reconoce la recepción.
56. Usando BSC, muestre la secuencia de tramas para el escenario siguiente (la computadora A es la primaria y la computadora B es la secundaria):
    a. La computadora A prueba para ver si B tiene datos que enviar.
    b. La computadora B envía una trama de 50 bytes.
    c. La computadora A reconoce la recepción.
57. Usando la Figura 11.29, muestre el intercambio de tramas si la estación A no tiene datos que enviar.
58. Usando la Figura 11.29, muestre el intercambio de tramas si se pierde la trama 1.
59. Usando la Figura 11.30, muestre el intercambio de tramas si la estación B no está lista para recibir datos.
60. Usando la Figura 11.30, muestre el intercambio de tramas si se pierde el reconocimiento.

CAPÍTULO 12

Redes de área local

Una **red de área local (LAN)** es un sistema de transmisión de datos que permite que un cierto número de dispositivos independientes se comuniquen entre sí dentro de un área geográfica limitada.

Hay cuatro tipos de arquitecturas predominantes en las LAN: Ethernet, Bus con paso de testigo, Red en anillo con paso de testigo e interfaz de datos distribuidos de fibra (FDDI). Ethernet, Bus con paso de testigo y Red en anillo con paso de testigo son estándares del IEEE y son parte de su Proyecto 802; FDDI es un estándar ANSI.

La parte que se encarga del control del enlace de datos de todos los protocolos LAN que se usan actualmente se basa en HDLC. Sin embargo, cada protocolo ha adaptado HDLC para que se ajuste a los requisitos específicos de su propia tecnología. (Por ejemplo, la tecnología en anillo tiene necesidades distintas que la tecnología en estrella, como veremos más tarde en este capítulo.) Las diferencias en los protocolos son necesarias para gestionar las distintas necesidades de cada diseño.

12.1. PROYECTO 802

En 1985, la Computer Society del IEEE comenzó el proyecto, denominado **Proyecto 802,** para definir estándares que permitieran la intercomunicación entre equipos de distintos fabricantes. El Proyecto 802 no busca reemplazar ninguna parte del modelo OSI. En lugar de eso, es una forma de especificar funciones del nivel físico, el nivel de enlace de datos y, en menor extensión, el nivel de red para permitir la interconectividad de los principales protocolos LAN.

> En 1985, la Computer Society del IEEE desarrolló el Proyecto 802. Este proyecto cubre los dos primeros niveles del modelo OSI y parte del tercer nivel.

Las relaciones del **Proyecto 802** del IEEE con el modelo OSI se muestra en la Figura 12.1. El IEEE ha subdividido el nivel de enlace de datos en dos subniveles: **control del enlace lógico (LLC,** *Logical Link Control*) y **control de acceso al medio (MAC,** *Medium Access Control*).

El LLC no es específico para cada arquitectura; es decir, es el mismo para todas las LAN definidas por el IEEE. Por otra parte, el subnivel MAC contiene un cierto número de módulos diferentes, cada uno de los cuales contiene información específica del propietario para el tipo del producto LAN que se quiere utilizar.

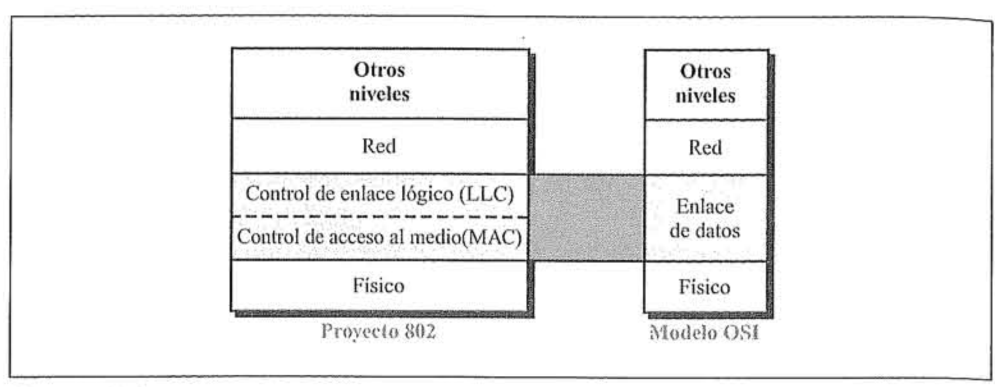


Figura 12.1. *LAN comparada con el modelo OSI.*

> El Proyecto 802 ha dividido el nivel de enlace de datos en dos subniveles distintos: control de enlace lógico (LLC) y control de acceso al medio (MAC).

Además de estos dos subniveles, el Proyecto 802 contiene una sección que establece la **comunicación entre redes.** Esta sección asegura la compatibilidad de distintas LAN y MAN que usan distintos protocolos y permite el intercambio de datos entre redes que de otra forma serían incompatibles.

La fuerza del Proyecto 802 está en su modularidad. Mediante la subdivisión de las funciones necesarias para la gestión de la LAN, los diseñadores fueron capaces de estandarizar aquellas que podrían ser generalizadas y de aislar las que deben ser específicas. Cada subdivisión se identifica mediante un número: 802.1 (comunicación entre redes); 802.2 (LLC); y los módulos MAC 802.3 (CSMA/CD), 802.4 (Bus con paso de testigo), 802.5 (Red en anillo con paso de testigo) y otros (véase la Figura 12.2).

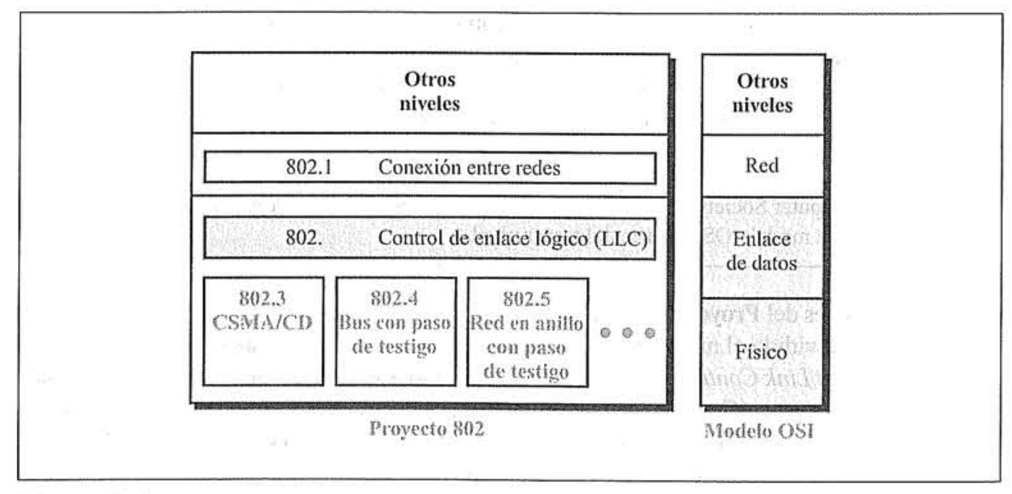


Figura 12.2. *Proyecto 802.*

IEEE 802.1

El **IEEE 802.1** es la parte del Proyecto 802 dedicada a los aspectos de comunicación entre redes LAN y MAN. Aunque todavía no está completo, intenta resolver las incompatibilidades entre arquitecturas de redes sin que sea necesario hacer modificaciones en las direcciones existentes, los medios de acceso y los mecanismos de recuperación de errores, entre otros. Algunos de estos temas se tratarán en el Capítulo 21.

> El IEEE 802.1 es un estándar de comunicación entre redes para LAN.

LLC

En general, el modelo del Proyecto 802 del IEEE toma la estructura de una trama HDLC y la divide en dos conjuntos de funciones. Un conjunto contiene las porciones de usuario final de la trama: las direcciones lógicas, la información de control y los datos. Estas funciones son gestionadas por el protocolo de control de enlace lógico (LLC) del **IEEE 802.2.** Se considera que el LLC es la capa superior del nivel de enlace de datos del IEEE 802 y es común a todos los protocolos LAN.

> El control de enlace lógico (LLC) del IEEE 802.2 es el subnivel superior del nivel de enlace de datos.

MAC

El segundo conjunto de funciones, el subnivel de control de acceso al medio (MAC), resuelve la contención en el acceso al medio compartido. Contiene especificaciones de sincronización, indicadores, flujo y control de error necesarias para llevar la información de un lugar a otro, así como las direcciones físicas de la siguiente estación que debe recibir y enrutar un paquete. Los protocolos MAC son específicos de la LAN que los usa (Ethernet, Red en anillo con paso de testigo, Bus con paso de testigo, etc.)

> El control de acceso al medio (MAC) es el subnivel inferior del nivel de enlace de datos.

Unidad de datos del protocolo (PDU)

La unidad de datos del nivel LLC se denomina **unidad de datos del protocolo (PDU).** La PDU contiene cuatro campos que resultan familiares de HDLC: un punto de acceso al servicio en destino (DSAP), un punto de acceso a servicio en el origen (SSAP), un campo de control y un campo de información (véase la Figura 12.3).

DSAP y SSAP

DSAP y SSAP son direcciones que usa el LLC para identificar las pilas de protocolos en las máquinas receptoras y emisoras que están usando y generando los datos respectivamente. El primer bit del DSAP indica si la trama está destinada a un individuo o a un grupo. El primer bit del SSAP indica si la comunicación es una PDU de orden o de respuesta (véase la Figura 12.3).

Control

El campo de control de la PDU es idéntico al campo de control en HDLC. Al igual que en HDLC, las tramas PDU pueden ser tramas I, tramas S o tramas U y pueden transportar todos los códigos e información que transportan las tramas correspondientes de HDLC (véase la Figura 12.4).

La PDU no tiene campos indicadores, ni CRC ni dirección de estación. Estos campos se añaden en el subnivel bajo (el nivel MAC).

12.2. ETHERNET

El **IEEE 802.3** proporciona una LAN estándar desarrollada originalmente por Xerox y ampliada posteriormente en un esfuerzo conjunto entre Digital Equipment Corporation, Intel Corporation y Xerox. El resultado se denominó **Ethernet.**

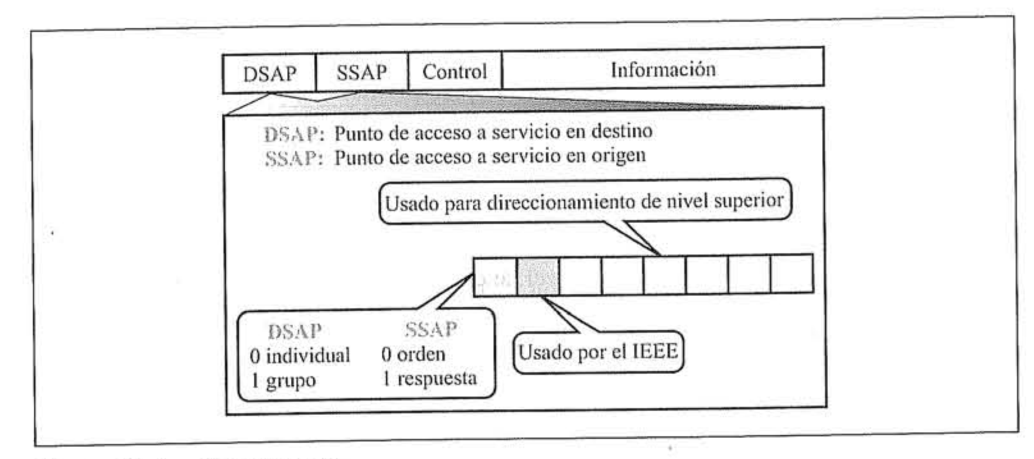


Figura 12.3. *Formato PDU.*

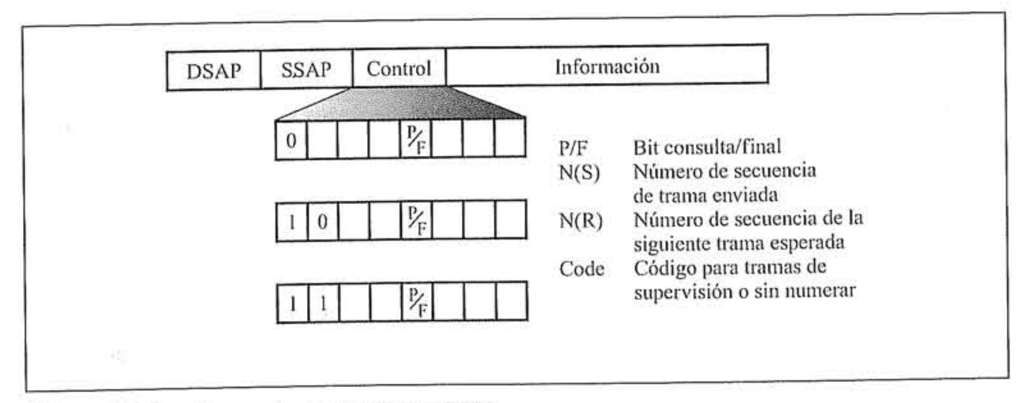


Figura 12.4. *Campo de control en una PDU.*

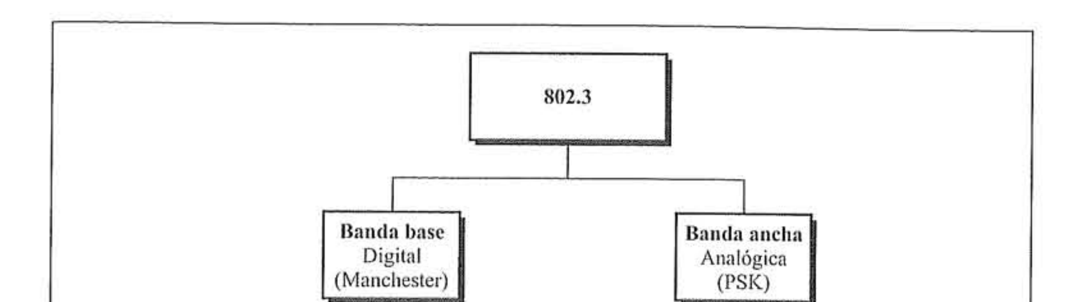


Figura 12.5. *IEEE 802.3.*

El IEEE 802.3 define dos categorías: banda base y banda ancha, como se muestra en la Figura 12.5. La palabra *base* especifica una señal digital (en este caso, codificación Manchester). La palabra ancha especifica una señal analógica (en este caso, codificación PSK). El IEEE divide la categoría de la banda base en cinco estándares distintos: **10Base5, 10Base2, 1Base-T, 1Base5** y **100Base-T.** El primer número (10, 1 o 100) indica la tasa de datos en Mbps. El último número o letra (5, 2, 1 o T) indica la máxima longitud de cable o el tipo de cable. El IEEE define únicamente una especificación para la categoría de banda ancha: 10Broad36. De nuevo, el primer número (10) indica la tasa de datos. El último número define la máxima longitud del cable. Sin embargo, la restricción de la máxima longitud del cable se puede cambiar usando dispositivos de red tales como repetidores o puentes (véase el Capítulo 21).

Método de acceso: CSMA/CD

Siempre que múltiples usuarios tienen acceso incontrolado a una única línea, existe el peligro de que las señales se solapen y se destruyan entre sí. Estos solapamientos, que convierten las señales en ruido inútil, se denominan **colisiones.** A medida que se incrementa el tráfico en un enlace con múltiples accesos, se incrementan las colisiones.

Por tanto, una LAN necesita un mecanismo para coordinar el tráfico, minimizar el número de colisiones que se producen y maximizar el número de tramas que se entregan con éxito. El mecanismo de acceso al medio usado en una Ethernet se denomina **portadora sensible a acceso múltiple con detección de colisiones (CSMA/CD,** *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) (estandarizado en el IEEE 802.3).

CSMA/CD es el resultado de la evolución de **acceso múltiple (MA,** *Multiple Access*) a **portadora sensible a acceso múltiple (CSMA,** *Carrier Sense Multiple Access*) y, finalmente, a una portadora sensible a múltiples accesos con detección de colisión (CSMA/CD). El diseño original fue un método de acceso múltiple en el que cada computadora tenía el mismo acceso al enlace. En MA no había ninguna previsión para coordinar el tráfico. El acceso a la línea estaba abierto para cualquier nodo en todo momento, asumiendo que las probabilidades de que dos dispositivos compitieran por el acceso al enlace al mismo tiempo, eran lo suficientemente pequeñas para no ser tenidas en cuenta. Cualquier estación deseando transmitir podía hacerlo, confiando en los reconocimientos para verificar que la

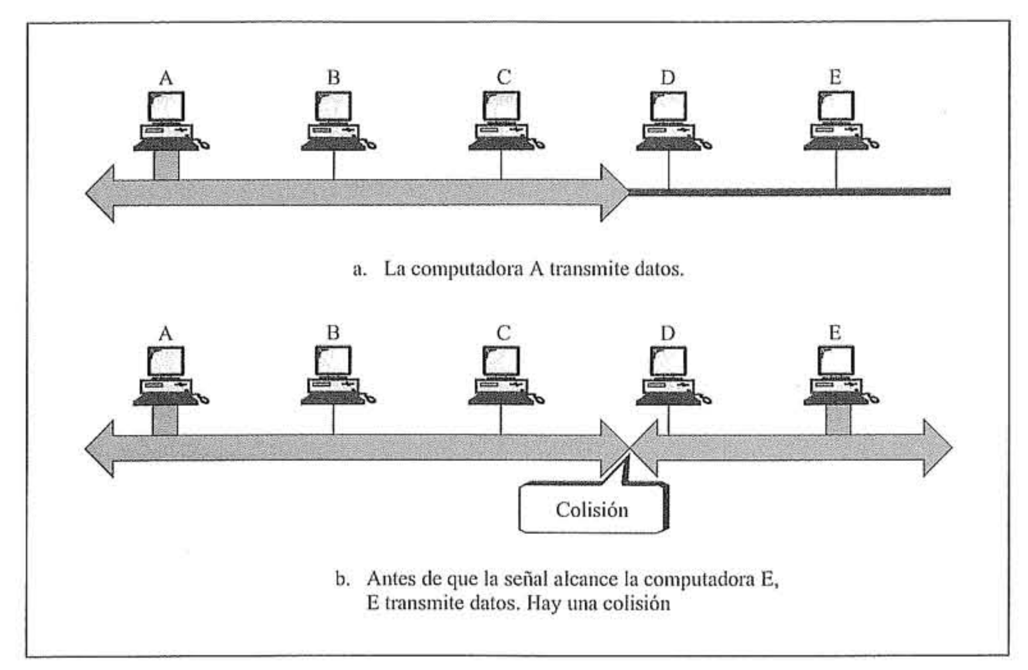


Figura 12.6. *Colisión en CSMA/CD.*

trama transmitida no había sido destruida por cualquier otro tipo de tráfico existente en la línea.

En el sistema CSMA, cualquier estación que quisiera transmitir debía comprobar previamente que no hubiera tráfico en la línea. Los dispositivos escuchan comprobando la existencia de un cierto voltaje. Si no se detecta voltaje, se considera que la línea está vacía y se inicia la transmisión. CSMA reduce el número de colisiones, pero no las elimina. Las colisiones pueden seguir ocurriendo. Si otra estación ha transmitido demasiado recientemente para que su señal haya alcanzado la estación destino, el que escucha asume que la línea está vacía e introduce su propia señal en la misma.

El paso final es añadir el mecanismo de detección de colisión (CD, *Collision Detection*). En CSMA/CD, la estación que quiere transmitir escucha primero para estar segura de que el enlace está libre, a continuación transmite sus datos y después vuelve a escuchar. Durante la transmisión de datos, la estación comprueba si en la línea se producen los voltajes extremadamente altos que indican una colisión. Si se detecta una colisión, la estación deja de transmitir y espera una cierta cantidad de tiempo predefinido para que la línea quede libre, enviando los datos de nuevo después de ello (véase la Figura 12.6).

Direccionamiento

Cada estación en una red Ethernet (como una PC, estación de trabajo o impresora) tiene su propia **tarjeta de interfaz de red (NIC,** *Network Interface Card*). La NIC está situada habitualmente dentro de la estación y proporciona a la estación una dirección física de 6 bytes. El número de la NIC es único.

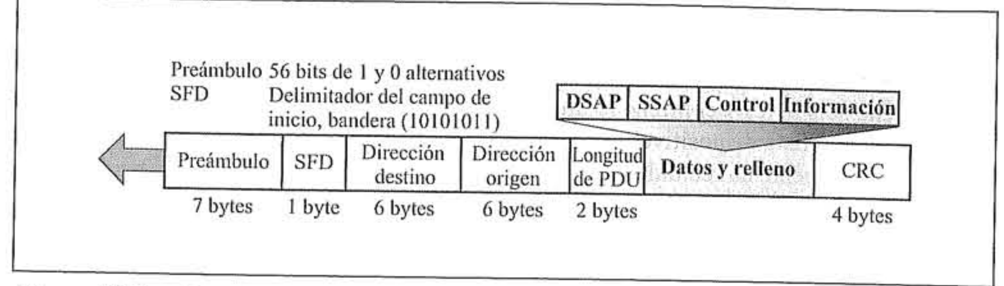


Figura 12.7. *Trama MAC 802.3.*

Especificación eléctrica

Señales

Los sistemas de banda base usan codificación digital Manchester (véase el Capítulo 5). Un sistema de banda ancha, 10Broad36, que usa conversión digital/analógico (PSK diferencial).

Tasa de datos

Las LAN Ethernet pueden proporcionar tasas de datos entre 1 y 100 Mbps.

Formato de trama

El IEEE 802.3 especifica un tipo de trama que contiene siete campos: preámbulo, SFD, DA, SA, longitud/tipo de la PDU, trama 802.2 y el CRC. Ethernet no proporciona ningún mecanismo para reconocer las tramas recibidas, razón por la que se le conoce como un medio no fiable. Los reconocimientos deben ser implementados en las capas de nivel superior. El formato de la trama MAC en CSMA/CD se muestra en la Figura 12.7.

- **Preámbulo.** El primer campo de la trama 802.3, el **preámbulo**, contiene siete bytes (56 bits) de ceros y unos alternos que alertan al sistema receptor de la llegada de una trama y le permiten sincronizar su temporizador de entrada. El patrón 1010101 proporciona únicamente una alerta y un pulso de temporización; se confunde demasiado fácilmente para servir como un aviso útil de la llegada de un flujo de datos. HDLC combinó la alerta, temporización y comienzo de la sincronización en un único campo: el indicador. El IEEE 802.3 divide estas tres funciones entre el preámbulo y el segundo campo, el **delimitador de comienzo de trama (SFD,** *Start Frame Delimiter*).
- **Delimitador de comienzo de trama (SFD).** El segundo campo de la trama del 802.3 (un byte: 10101011) indica el comienzo de la trama. El SFD le dice al receptor que todo lo que reciba a continuación son datos, empezando por las direcciones.
- **Dirección de destino (DA,** *Destination Address*). El campo de dirección de destino (DA) incluye seis bytes y contiene la dirección física del siguiente destino del paquete. Una dirección física del sistema es un patrón de bits codificado en su tarjeta de interfaz de red (NIC). Cada NIC tiene una dirección única que la distingue de cualquier otra NIC. Si el paquete debe atravesar de una LAN a otra para alcanzar su destino, el campo DA contiene la dirección física del encaminador que conecta la LAN

actual con la siguiente. Cuando el paquete alcanza la red destino, el campo DA contiene la dirección física del dispositivo destino.

- **Dirección fuente (SA,** *Source Address*). El campo de **dirección fuente (SA)** también tiene seis bytes y contiene la dirección física del último dispositivo en reenviar el paquete. Este dispositivo puede ser la estación emisora o el encaminador que más recientemente ha recibido y reenviado el paquete.
- **Longitud/tipo de PDU.** Los dos bytes siguientes indican el número de bytes en el PDU entrante. Si la longitud del PDU es fija, este campo se puede usar para indicar el tipo o como base para otros protocolos. Por ejemplo, Novell e Internet lo usan para identificar el protocolo de nivel de red que se usa en el PDU.
- **Trama 802.2 (PDU).** Este campo de la trama 802.3 contiene toda la trama 802.2 como una unidad modular removible. La PDU puede ser de cualquier longitud entre 46 y 1.500 bytes, dependiendo del tipo de trama y de la longitud del campo de información. La PDU es generada por el subnivel superior (LLC) y después añadida a la trama 802.3.
- **CRC.** El último campo de la trama 802.3 contiene la información de detección de error, en este caso un CRC-32.

Implementación

Aunque la mayor parte del estándar del Proyecto IEEE 802 se centra en el nivel de enlace de datos del modelo OSI, el modelo 802 también define algunas de las especificaciones físicas para otros protocolos definidos en el nivel MAC. En el estándar 802.3, el IEEE define los tipos de cable, conexiones y señales a utilizar en cinco implementaciones distintas de Ethernet. Todas las LAN Ethernet se configuran como buses lógicos, aunque se pueden implementar físicamente con topologías de bus o de estrella. Cada trama se transmite a cada estación del enlace pero es leída únicamente por la estación a la cual va destinada.

10BASE5: Ethernet de cable grueso

El primero de los estándares físicos definidos en el modelo del IEEE 802.3 se denomina 10Base5, **Ethernet de cable grueso** o **Thicknet.** Esta abreviatura se deriva del tamaño del cable, que es aproximadamente del tamaño de una manguera de jardín y demasiado rígida para poder curvarse con las manos. La topología 10Base5 es una LAN con topología de bus que usa señalización en banda base y tiene una máxima longitud de segmento de 500 metros.

Como se verá en el Capítulo 21, se pueden usar dispositivos de red (tales como repetidores y puentes) para solventar el problema de la limitación de tamaño en las redes de área local. En la Ethernet de cable grueso, una red de área local se puede dividir en segmentos mediante dispositivos de conexión. En este caso, la longitud de cada segmento se limita a 500 metros. Sin embargo, para reducir colisiones, la longitud total del bus no debería exceder los 2.500 metros (5 segmentos). Igualmente, el estándar exige que cada estación esté separada de su vecino más próximo al menos 2,5 metros (unas 200 estaciones por segmento y 1.000 estaciones en total); véase la Figura 12.8.

Los conectores físicos y los cables que se utilizan en 10Base5 incluyen cable coaxial, tarjetas de interfaz de red, transceptores y cables con interfaces de unidad de conexión (AUI). La interacción de estos componentes se muestra en la Figura 12.9.

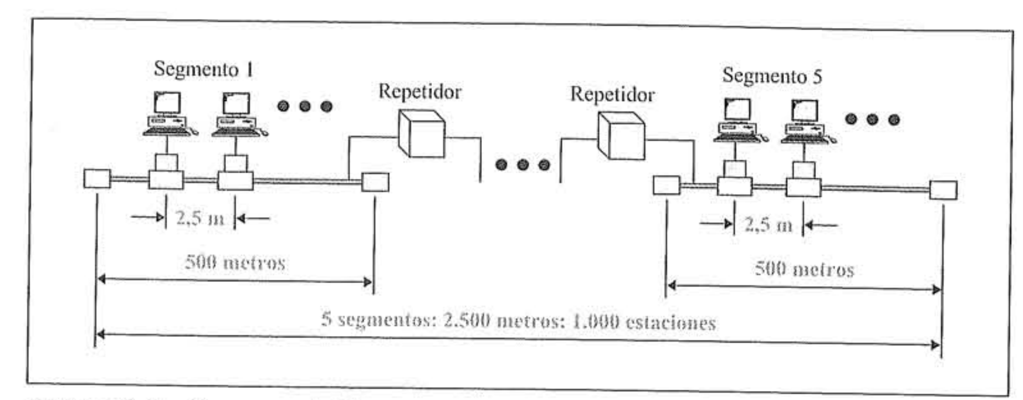


Figura 12.8. *Segmentos de Ethernet.*

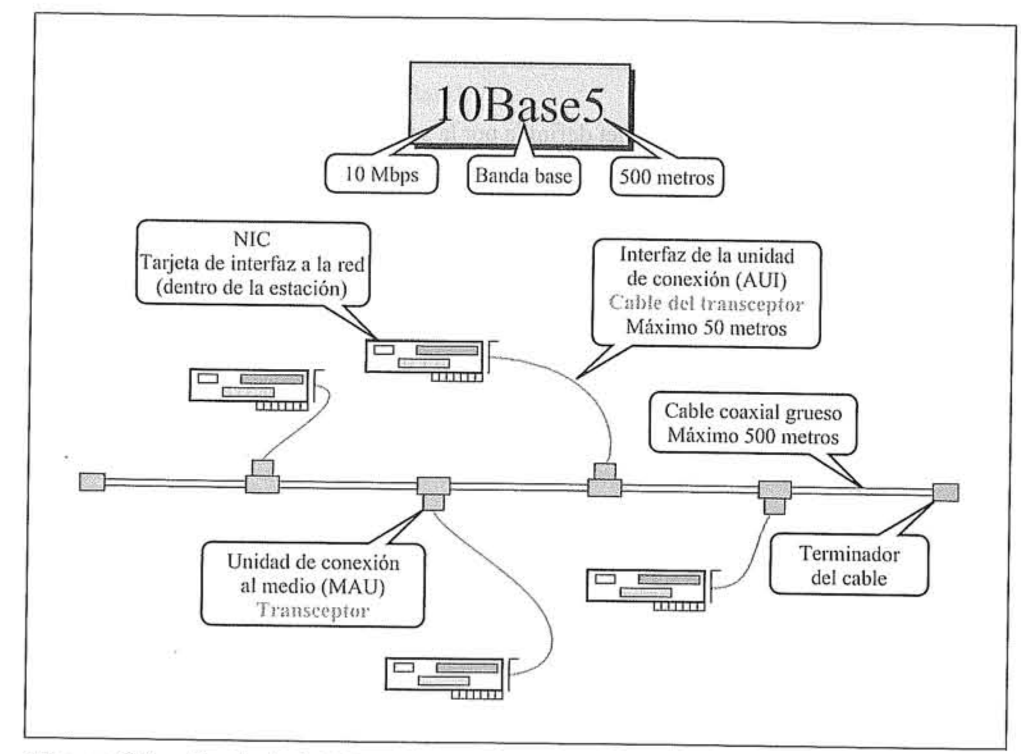


Figura 12.9. *Topología de 10Base5.*

Cable RG-8 El cable RG-8 (RG significa gobernado por radio) es un cable coaxial grueso que proporciona la troncal del estándar IEEE 802.3.

Transceptor Cada estación está conectada mediante un cable AUI a un dispositivo intermedio denominado **unidad de conexión al medio (MAU,** *Medium Attachment Unit*) o, más comúnmente, un **transceptor** (abreviatura de transmisor-receptor). El transceptor lleva a cabo las funciones de CSMA/CD de comprobación de voltaje y de colisiones de la línea y puede

contener un pequeño buffer. También para las funciones de conector que une una estación al cable coaxial grueso a través de una pinza (más adelante se volverá a este tema).

Cables AUI Cada estación está enlazada a su correspondiente transceptor mediante una **interfaz de unidad de conexión (AUI),** también llamada **cable de transceptor.** Una AUI es un cable de 15 hilos con enchufes que realizan las funciones de la interfaz de nivel físico entre la estación y el transceptor. Cada extremo de una AUI termina en un conector DB-15 (15 pines). El conector se enchufa a un puerto de la NIC y el otro en un puerto del transceptor. Las AUI tienen su longitud máxima restringida a 50 metros, permitiendo una cierta flexibilidad en la situación de las estaciones con relación al cable troncal 10BASE5.

Pinza del transceptor Cada transceptor contiene un mecanismo de conexión, denominado pinza, porque permite pinchar el transceptor en cualquier punto de la línea. La pinza es una carcasa gruesa del tamaño del cable con un pincho de metal en el centro (véase la Figura 12.10). El pincho está conectado a cables dentro del transceptor. Cuando se presiona el cable dentro de la carcasa, el pincho taladra las capas de envoltura y de protección y crea una conexión eléctrica entre el transceptor y el cable. Este tipo de conector se denomina a menudo **pinza vampiro** porque muerde el cable.

10BASE2: Ethernet de cable fino

La segunda implementación de Ethernet definida por la serie IEEE 802 se denomina 10Base2 o **Ethernet de cable fino.** La Ethernet de cable fino (también denominada **Thinnet, cheapnet, cheapernet** y Ethernet fina) proporciona una alternativa más barata a la Ethernet 10Base5, con la misma velocidad de datos. Al igual que 10Base5, la 10Base2 usa una LAN con topología de bus. Las ventajas de la Ethernet de cable fino son su costo reducido y su facilidad de instalación (el cable es más ligero y más flexible que el que se usa en la Ethernet de cable grueso). Las desventajas son que tiene un alcance menor (185 metros en lugar de los 500 metros disponibles con la Ethernet de cable grueso) y su menor capacidad (el cable fino acomoda menos estaciones). En muchas situaciones —tales como un número pequeño de usuarios en una minicomputadora UNIX o una red de computadoras personales y estaciones de trabajo— estas desventajas son irrelevantes y los ahorros de coste hacen que la 10Base2 sea la mejor opción.

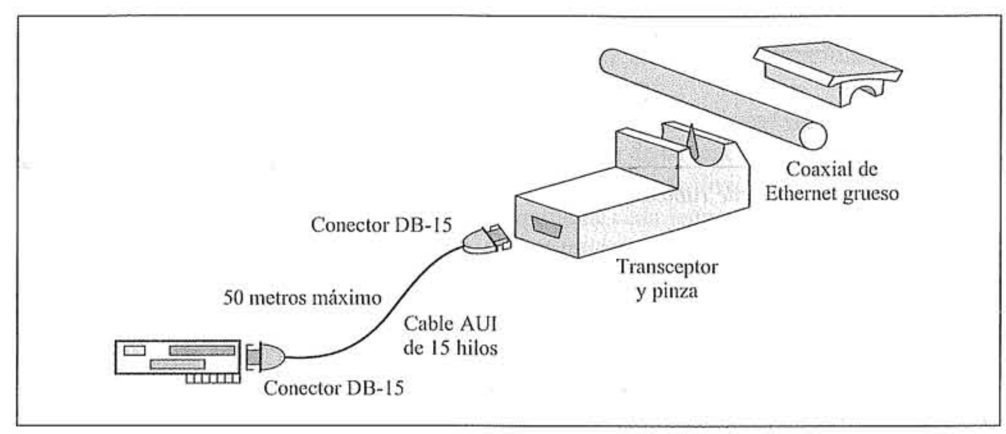


Figura 12.10. *Conexión de un transceptor en 10BASES.*

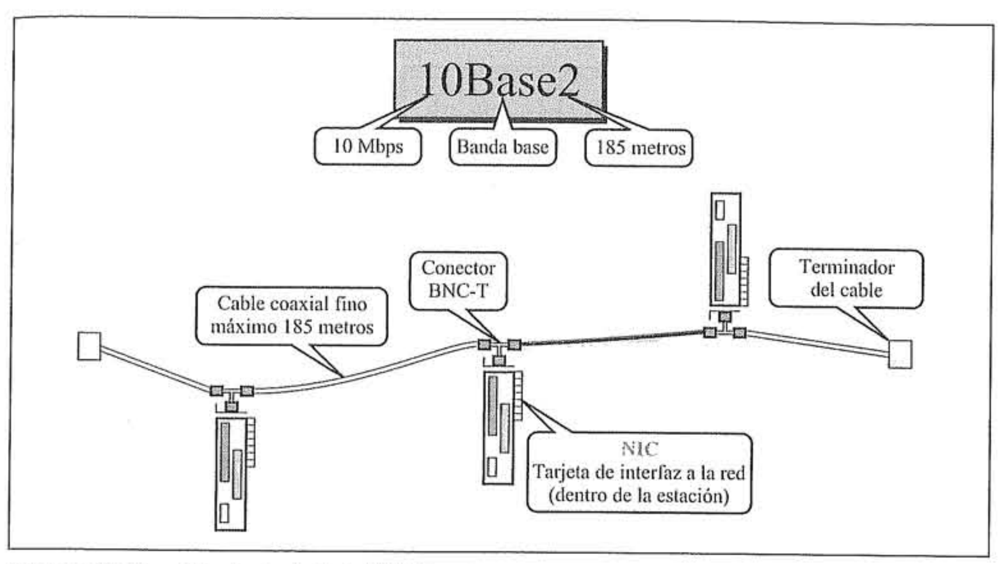


Figura 12.11. *Topología de la LAN 10Base2.*

La disposición física de un sistema 10Base2 se muestra en la Figura 12.11. Los conectores y los cables que se utilizan son: NIC, cable coaxial fino y conectores BNC-T. Con esta tecnología, la circuitería del transceptor se sitúa dentro de la NIC y el conector del transceptor ha sido reemplazado por un conector que conecta la estación directamente en el cable, eliminando la necesidad de cables AUI.

NIC La NIC de un sistema Ethernet de cable fino proporciona la misma funcionalidad que las existentes en un sistema de Ethernet de cable grueso, más las funciones de los transceptores. Esto significa que una NIC 10Base2 no solo proporciona a la estación una dirección, sino que también comprueba las tensiones eléctricas del enlace.

Cable coaxial fino El cable necesario para implementar el estándar 10Base2 es el RG-58. Estos cables son relativamente fáciles de instalar y trasladar (especialmente dentro de edificios ya existentes donde el cable debe cruzar paredes y techos).

BNC-T El conector BNC-T es un dispositivo con forma de T y tres puertos: uno para la NIC y los otros para cada uno de los dos extremos de entrada y salida del cable.

10BASE-T: Ethernet de par trenzado

El estándar más popular definido en las series IEEE 802.3 es el 10Base-T (también denominado **Ethernet de par trenzado**), una LAN con topología en estrella que usa cables de par trenzado sin blindaje (UTP) en lugar de cable coaxial. Proporciona una velocidad de datos de 10 Mbps y tiene una longitud máxima (desde el concentrador a la estación) de 100 metros.

En lugar de usar transceptores iguales, la Ethernet 10Base-T sitúa todas sus operaciones de red en un concentrador inteligente que tiene un puerto para cada estación. Las estaciones están conectadas al concentrador por cables RJ-45 de cuatro pares (cable de par trenzado de 8 hilos sin blindaje) terminados en cada extremo en un conector macho muy similar a las clavijas telefónicas (véase la Figura 12.12). El concentrador retransmite todas las tramas recibidas a las estaciones que tiene conectadas. La lógica en la NIC asegura que solamente la estación que va a abrir y leer una determinada trama es aquella a la cual va dirigida.

Figura 12.12. *Topología 10Base-T.*

Como muestra la Figura 12.12, cada estación contiene una NIC. Una UTP de cuatro pares cuya longitud no supera los 100 metros conecta la NIC en la estación con el puerto apropiado en el concentrador 10Base-T.

El peso y la flexibilidad del cable y la conveniencia de la clavija RJ-45 hacen que la 10Base-T sea la LAN del estándar 802.3 más fácil de instalar y mantener. Cuando sea necesario reemplazar una estación, basta con enchufar la nueva.

1Base5: StarLAN

StarLAN es un producto de AT&T usado con poca frecuencia actualmente debido a su baja velocidad. Al funcionar únicamente a 1 Mbps, es 10 veces más lenta que los tres estándares vistos hasta ahora.

La característica más interesante de la StarLAN es su rango, que se puede incrementar mediante un mecanismo denominado encadenamiento en margarita. Al igual que la 10Base-T, la StarLAN usa cables de par trenzado para conectar las estaciones a un concentrador inteligente central. A diferencia de la 10Base-T, que necesita que cada estación tenga su propio cable dedicado para conectarse al concentrador, la StarLAN permite que 10 estaciones se enlacen en una cadena, de una estación a la siguiente, en la cual solamente el dispositivo de cabecera se conecta al concentrador (véase la Figura 12.13).

12.3. OTRAS REDES ETHERNET

Durante la última década, ha habido una gran evolución en las redes Ethernet. Se han diseñado varios esquemas nuevos para tratar de mejorar las prestaciones y la velocidad de las LAN Ethernet. En esta sección se tratan tres de estos logros: *Ethernet conmutada, Fast Ethernet* y *Gigabit Ethernet.*

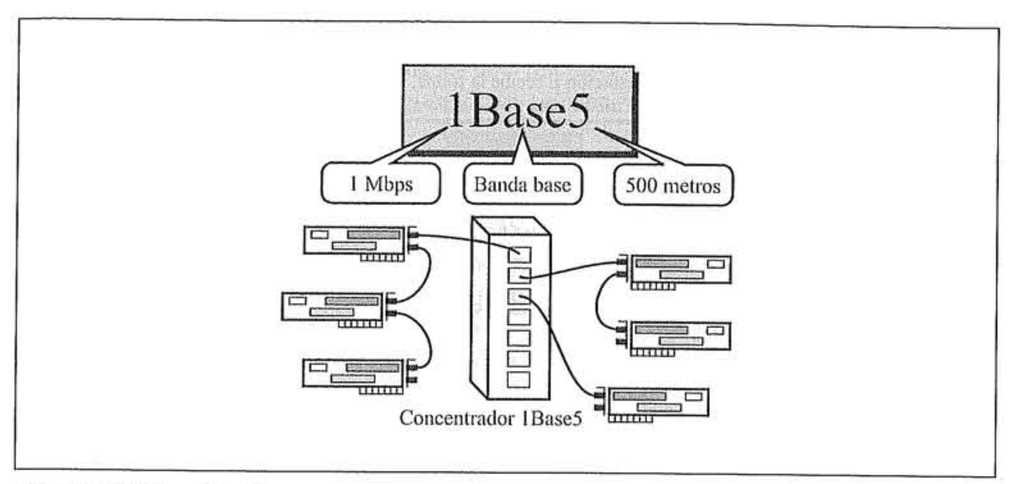


Figura 12.13. *1Base5.*

Ethernet conmutada

La **Ethernet conmutada** es un intento de mejorar las prestaciones de la Ethernet 10Base-T. La Ethernet 10Base-T es una red de medio compartido, lo que significa que todo el medio está involucrado en cada transmisión. Esto es así porque la topología, aunque físicamente es una estrella, es un bus lógico. Cuando una estación envía una trama al concentrador, la trama es retransmitida por todos los puertos (interfaces) y será recibida por todas las estaciones. En esta situación, solamente una estación puede enviar una trama en un instante dado. Si dos estaciones tratan de enviar tramas simultáneamente hay una colisión.

La Figura 12.14 muestra esta situación. La estación A está enviando una trama a la estación E. La trama es recibida por el concentrador y enviada a todas las estaciones. Todo el cableado del sistema está involucrado en las transmisiones. Otra forma de pensar acerca de esto es que una transmisión usa los 10 Mbps de capacidad. Si los utiliza una estación, otra no puede hacerlo.

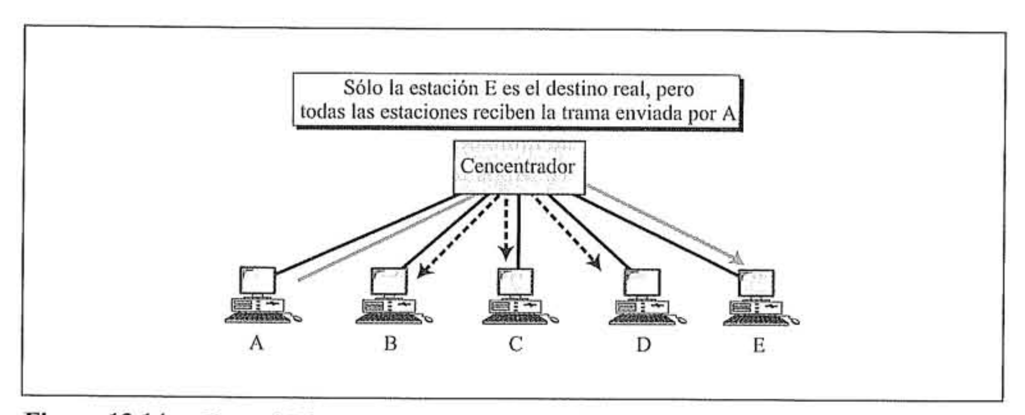


Figura 12.14. *Una red Ethernet que usa un concentrador.*

Sólo la estación E recibe la trama, por lo que el resto del medio está libre para otra transmisión

Conmutador

A B C D E

Figura 12.15. *Una Ethernet que usa un conmutador.*

Sin embargo, si se reemplaza el concentrador con un conmutador, un dispositivo que puede reconocer la dirección de destino y puede encaminar la trama al puerto al que está conectado dicha estación, el resto del medio no se ve involucrado en el proceso de transmisión. Esto significa que el conmutador puede recibir otra trama de otra estación al mismo tiempo y puede encaminar esta trama a su destino final. Teóricamente, de esta forma no hay colisiones.

Usando un conmutador en lugar de un concentrador, se puede incrementar teóricamente la capacidad de una red con N dispositivos hasta N × 10 Mbps, debido a que el 10Base-T usa dos pares de UTP para comunicación dúplex.

La Figura 12.15 muestra una Ethernet conmutada. Cuando la estación A envía una trama a la estación E, la estación B también puede enviar una trama a la estación D sin que haya colisión.

Fast Ethernet

A medida que aplicaciones nuevas, como el diseño asistido por computadora (CAD), procesamiento de imagen y la utilización de audio y vídeo en tiempo real, van siendo implementadas en las LAN, hay necesidad de tener LAN con una velocidad de datos mayor que 10 Mbps. La **Fast Ethernet** opera a 100 Mbps.

Afortunadamente, debido a la forma en que se diseñó Ethernet, es fácil incrementar la velocidad si decrece el dominio de colisión (la máxima distancia que viajan los datos entre dos estaciones).

El dominio de colisión de Ethernet está limitado a 2.500 metros. Esta limitación es necesaria para permitir una tasa de datos de 10 Mbps usando el método de acceso CSMA/CD. Para que CSMA/CD funcione, una estación debería ser capaz de notar la colisión antes de que toda la trama se haya situado en el medio. Si se ha enviado toda la trama y no se ha detectado la colisión, la estación asume que todo está bien, destruye la copia de la trama y envía la siguiente.

El tamaño mínimo de una trama Ethernet es 72 bytes o 576 bits. Enviar 576 bits a una velocidad de 10 Mbps consume 57,6 microsegundos (576 bits/10 Mbps = 57,6). Antes de que se haya enviado el último bit, el primer bit debe haber alcanzado el fin del extremo del dominio y, si hay una colisión, debe ser notada por el emisor. Esto implica que durante el tiempo

que tarda el emisor en transmitir 576 bits dicha colisión debe ser detectada. En otras palabras, la colisión debe ser detectada durante los 57,6 microsegundos. Este tiempo es suficiente para permitir que una señal haga un viaje de ida y vuelta de 5.000 metros a la velocidad de propagación en un medio de transmisión típico como un cable de par trenzado.

Para incrementar la velocidad de los datos sin cambiar el tamaño mínimo de la trama, es necesario disminuir el tiempo de ida y vuelta. Con una velocidad de 100 Mbps, el tiempo de ida y vuelta se reduce a 5,76 microsegundos (576 bits/ 100 Mbps). Esto significa que el dominio de colisión se debe reducir 10 veces, de 2.500 metros a 250 metros. Esta disminución no es un problema debido a que las LAN conectan actualmente computadoras de sobremesa que no están separadas más allá de 50 o 100 metros del concentrador central. Esto significa que el dominio de colisión está entre 100 y 200 metros.

La Fast Ethernet es una versión de Ethernet con una tasa de datos de 100 Mbps. No hay ningún cambio en el formato de trama. No hay ningún cambio en el método de acceso. Los únicos dos cambios en el nivel MAC son la tasa de datos y el dominio de colisión. La tasa de datos se incrementa en un factor de 10; el dominio de colisión se disminuye en un factor de 10.

En el nivel físico, la especificación desarrollada para la Fast Ethernet es una topología similar a la 10Base-T; sin embargo, para satisfacer al nivel físico de los distintos recursos disponibles, el IEEE ha diseñado dos categorías de Fast Ethernet: 100Base-X y 100Base-T4. La primera usa dos cables entre la estación y el concentrador; el segundo usa 4. La 100Base-X se divide a su vez en dos tipos: 100Base-TX y 100Base-FX (véase la Figura 12.16).

100Base-TX

El diseño de **100Base-TX** usa dos cables de par trenzado sin blindaje (UTP) de categoría 5 o dos cables de par trenzado blindado (STP) para conectar una estación con el concentrador. Un par se usa para llevar las tramas desde la estación al concentrador y el otro para transportar las tramas desde el concentrador a la estación. La codificación es 4B/5B para gestionar los 100 Mbps; la señalización es NRZ-I. La distancia entre la estación y el concentrador (o conmutador) debe ser menor de 100 metros (véase la Figura 12.17).

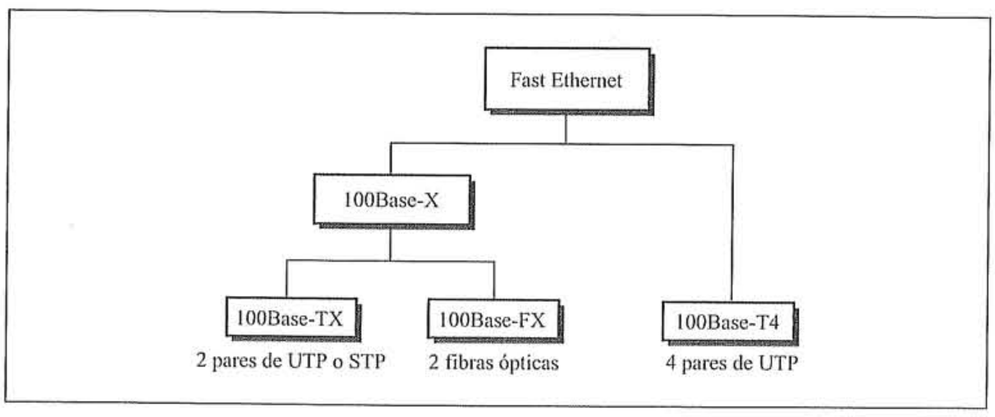


Figura 12.16. *Clases de implementaciones de Fast Ethernet.*

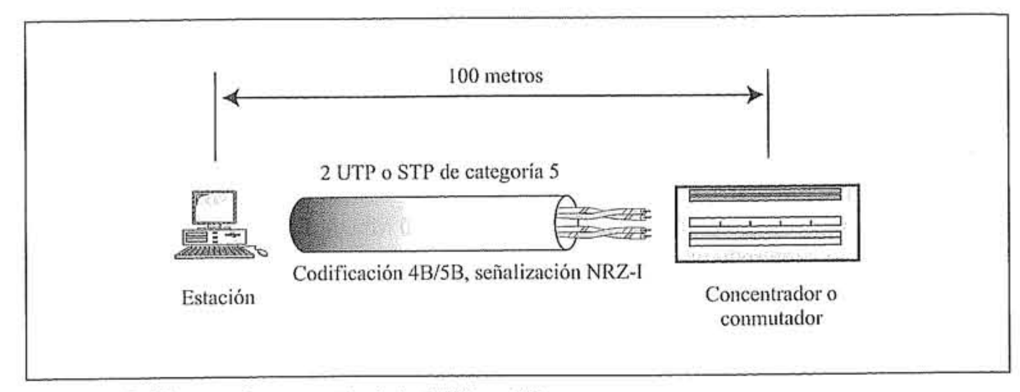


Figura 12.17. *Implementación de la 100Base-TX.*

100Base-FX

El diseño de la **100Base-FX** usa dos fibras ópticas, una para llevar las tramas de la estación al concentrador y otra del concentrador a la estación. La codificación es 4B/5B y la señalización es NRZ-I. La distancia entre la estación y el concentrador (o conmutador) debe ser menor de 2.000 metros (véase la Figura 12.18).

100Base-T4

El esquema de la **100Base-T4** se diseñó haciendo un esfuerzo para evitar el cableado extra. Necesita cuatro pares UTP de categoría 3 (grado voz), que ya están disponibles para el servicio telefónico en la mayoría de los edificios. Dos de los cuatro pares son bidireccionales; los otros dos son unidireccionales. Esto significa que en cada dirección se usan tres pares al mismo tiempo para llevar datos. Debido a que la tasa de datos de 100 Mbps no se puede manejar mediante una UTP de grado voz, la especificación divide el flujo de datos a 100 Mbps en tres flujos de 33,66 Mbps. Para reducir la tasa de baudios de la transmisión, se usa un método denominado 8B/6T (8 binario/6 ternario) en el que cada bloque de ocho bits se transforma en seis baudios de tres niveles de voltaje (positivo, negativo y cero). La Figura 12.19 muestra el esquema y un ejemplo de su codificación.

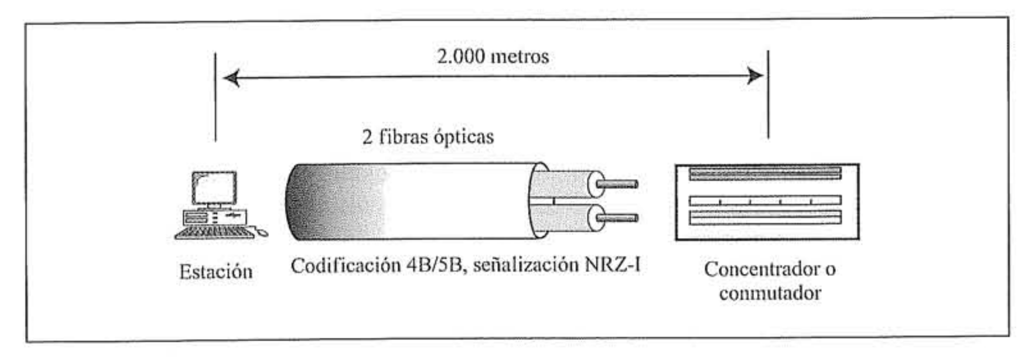


Figura 12.18. *100Base-FX.*

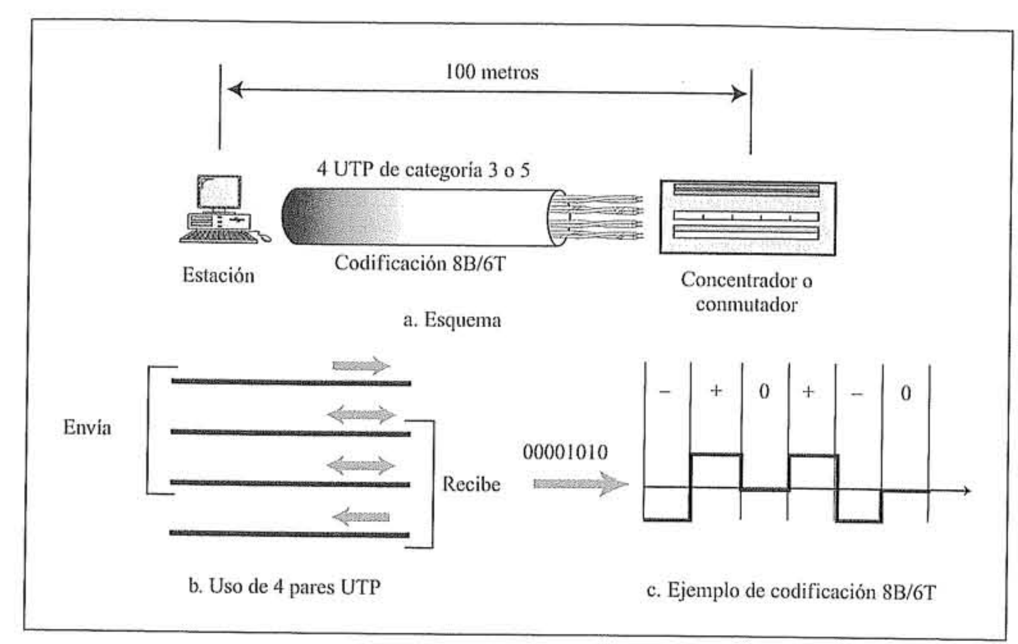


Figura 12.19. *100Base-T4*

Gigabit Ethernet

La migración de 10 Mbps a 100 Mbps animó al comité del IEEE 802.3 a diseñar la **Ethernet Gigabit,** que tiene una tasa de datos de 1.000 Mbps o 1 Gbps. La estrategia es la misma; el nivel MAC y los métodos de acceso siguen siendo los mismos, pero se reduce el dominio de colisión. Sin embargo, el nivel físico —el medio de transmisión y el sistema de codificación— cambia. La Ethernet Gigabit se diseñó principalmente para su uso con fibra óptica, aunque el protocolo no elimina el uso de cables de par trenzado. La Ethernet Gigabit sirve habitualmente como troncal para conectar redes Fast Ethernet. En la Figura 12.20 se muestra un ejemplo de ello.

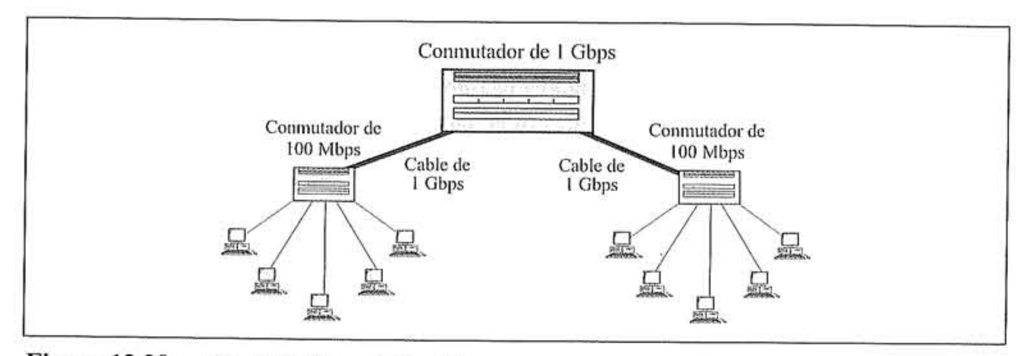


Figura 12.20. *Uso de la Ethernet Gigabit.*

Tabla 12.1. *Comparación entre las implementaciones de Ethernet Gigabit*

Característica	*1.000Base-SX*	*1.000Base-LX*	*1.000Base-CX*	*1.000Base-T*
Medio	Fibra óptica (multimodo)	Fibra óptica (multi o monomodo)	STP	UTP
Señal	Láser de onda corta	Láser de onda larga	Eléctrica	Eléctrica
Distancia máxima	550 m	550 m (multimodo) 5.000 m (monomodo)	25m	25m

Se han diseñado cuatro implementaciones para la Ethernet Gigabit: 1.000Base-LX, 1.000Base-SX, 1.000Base-CX y 1.000Base-T. La codificación es 8B/10B, lo que significa que los grupos de 8 bits binarios se codifican en grupos de 10 bits binarios. La Tabla 12.1 muestra las características de las cuatro implementaciones.

12.4. BUS CON PASO DE TESTIGO

La red de área local tiene una aplicación directa en automatización de fábricas y en control de procesos, donde los nodos son computadoras que controlan los procesos de manufacturación. En este tipo de aplicaciones es necesario llevar a cabo procesamiento en tiempo real con retraso mínimo. El procesamiento debe ocurrir a la misma velocidad a la que se mueven los objetos a lo largo de línea de ensamblaje. Ethernet (IEEE 802.3) no es un protocolo adecuado para este tipo de aplicaciones debido a que el número de colisiones no es predecible y a que el retraso en el envío de datos desde el centro de control a las computadoras de la línea de ensamblaje no tiene un valor fijo. La **red en anillo con paso de testigo (IEEE 802.5;** véase la sección siguiente) tampoco es un protocolo adecuado debido a que una línea de ensamblaje necesita una topología de bus y no un anillo. El **bus con paso de testigo (802.4,** *Bus con paso de testigo*) combina las características de la Ethernet y la Red en anillo con paso de testigo. Combina la configuración física de la Ethernet (una topología de bus) y la característica de estar libre de colisiones (retraso predecible) de la Red en anillo con paso de testigo. El Bus con paso de testigo es un bus físico que opera como un anillo lógico usando **testigos.**

Las estaciones se organizan en un anillo lógico. Un testigo pasa entre las estaciones. Si una estación quiere enviar datos, debe esperar a capturar el testigo. Sin embargo, al igual que la Ethernet, las estaciones se comunican a través de un bus.

El Bus con paso de testigo está limitado a la automatización de factorías y el control de procesos y no tiene aplicaciones comerciales en la transmisión de datos. Igualmente, los detalles de funcionamiento de los mismos están muy relacionados con este tipo de procesos. Por estas dos razones, no se va a profundizar más en el estudio de este tipo de protocolo.

12.5 RED EN ANILLO CON PASO DE TESTIGO

Como se ha mencionado anteriormente, los mecanismos de acceso a la red usados por la Ethernet (CSMA/CD) no son infalibles y pueden dar como resultado colisiones. Las estaciones pueden intentar enviar datos muchas veces antes de poder llevar a cabo la transmisión por el enlace. Esta redundancia puede crear retrasos de longitud indeterminada si hay un tráfico pesado. No hay forma de predecir ni la ocurrencia de las colisiones ni los retrasos producidos por las estaciones múltiples que intentan acceder al enlace al mismo tiempo.

La red en anillo con paso de testigo resuelve esta incertidumbre exigiendo a las estaciones que envíen los datos por turno. Cada estación puede transmitir solo durante su turno y pueden enviar únicamente una trama durante cada turno. El mecanismo que coordina esta rotación se llama **paso de testigo.** Un testigo es una trama contenedor sencilla que se pasa de estación a estación alrededor del anillo. Una estación puede enviar datos solamente cuando está en posesión del testigo.

> La red en anillo con paso de testigo permite a cada estación enviar una trama por turno.

Método de acceso: paso de testigo

El paso de testigo se ilustra en la Figura 12.21. Siempre que la red está desocupada, pone en circulación un testigo sencillo de tres bytes. Este testigo se pasa de NIC a NIC en secuencia hasta que encuentra una estación que tiene datos para enviar. Esta estación espera a que el testigo entre en su tarjeta de red. Si el testigo está libre, entonces la estación puede enviar datos. Además, mantiene el testigo y activa un bit dentro de su NIC para recordar que lo ha hecho, enviando a continuación su trama de datos.

Esta trama de datos se propaga a través del anillo, siendo regenerada por cada estación. Cada estación intermedia examina la dirección destino, ve que la trama está dirigida a otra estación y la reenvía a su destino. El supuesto receptor reconoce su dirección, copia el mensaje, comprueba los errores y cambia cuatro bits en el último byte de la trama para indicar que ha reconocido la dirección y ha copiado la trama. A continuación todo el paquete sigue girando alrededor del anillo hasta que llega a la estación que lo envió.

El emisor recibe la trama y reconoce su propia dirección en el campo de dirección origen. Examina los datos de dirección reconocida. Si están activos, sabe que la trama fue recibida correctamente. En ese momento, el emisor descarta la trama de datos ya utilizada y vuelve a poner el testigo en el anillo.

Prioridad y reserva

Generalmente, una vez que se ha liberado el testigo, la siguiente estación en el anillo con datos para enviar tiene el derecho de hacerse cargo del anillo. Sin embargo, en el modelo IEEE 802.5 hay otra opción posible. El testigo ocupado puede ser reservado por una estación esperando para transmitir, independientemente de la localización de esa estación en el anillo. Cada estación tiene un código de prioridad. A medida que la trama circula, una estación que espera para transmitir puede reservar el siguiente testigo libre introduciendo su código de prioridad en el **campo de control de acceso (AC)** del testigo o de la trama de datos (como se verá más tarde en esta sección). Una estación con mayor prioridad puede eliminar una reserva de menor prioridad y reemplazarla con su propia identidad. Entre estaciones de la misma prioridad, se sigue la regla del primero en llegar primero en ser servido. Mediante este mecanismo, la estación que tiene la reserva tiene la oportunidad de transmitir tan pronto como el testigo está libre, tanto si viene físicamente en el anillo como si no.

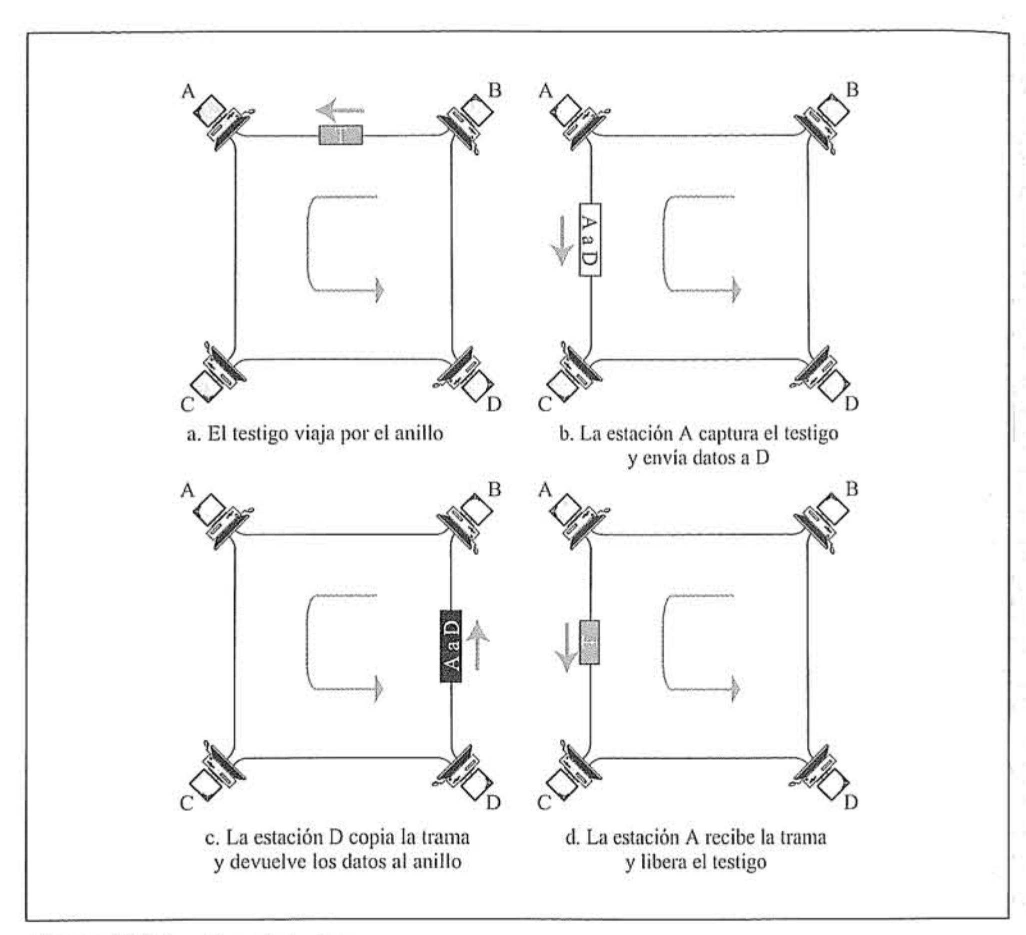


Figura 12.21. *Paso de testigo.*

Límites temporales

Para mantener el tráfico en movimiento, la red en anillo con paso de testigo pone un límite temporal para cualquier estación que quiera usar el anillo. Un delimitador de comienzo (el primer campo de un testigo o de una trama de datos) debe alcanzar a cada estación dentro de un intervalo de tiempo especificado (habitualmente 10 milisegundos). En otras palabras, cada estación espera recibir tramas en intervalos regulares de tiempo (recibe una trama y espera recibir la trama siguiente dentro de un periodo específico).

Estaciones monitoras

Hay varios problemas que pueden interrumpir el servicio de una red en anillo con paso de testigo. En uno de los escenarios posibles, una estación puede dejar de retransmitir un testigo o se puede destruir un testigo debido al ruido, en cuyo caso no hay testigo en el anillo y ninguna estación puede enviar datos. Otro escenario posible es aquel en el que una estación emisora puede no eliminar la trama de datos que introdujo en el anillo o puede no liberar el testigo una vez que su turno ha terminado.

Para gestionar estas situaciones, una de las estaciones del anillo se designa como **estación monitora.** La monitora fija un temporizador cada vez que pasa el testigo. Si el testigo no reaparece en el tiempo fijado, presume que se ha perdido y genera un nuevo testigo y lo pone en la red. La monitora también evita que haya tramas de datos recirculando perpetuamente en el anillo activando un bit en el campo AC de cada trama. Cuando pasa la trama, la monitora comprueba el campo de estado. Si el bit de estado está activo, sabe que el paquete ya ha pasado por todo el anillo una vez y que debería ser descartado. Entonces, la monitora destruye la trama y pone el testigo en el anillo. Si el monitor falla, una segunda estación denominada de respaldo se hace cargo de este proceso.

Direccionamiento

Las redes en anillo con paso de testigo usan una dirección de seis bytes, que está impresa en la tarjeta NIC de forma similar a las direcciones Ethernet.

Especificaciones eléctricas

Señalización

Las redes en anillo con paso de testigo usan codificación Manchester diferencial (véase el Capítulo 5).

Tasa de datos

La Red en anillo con paso de testigo soporta velocidades de datos de hasta 16 Mbps. (La especificación original fue 4 Mbps.)

Formatos de tramas

El protocolo de Red en anillo con paso de testigo especifica tres tipos de tramas: datos/órdenes, testigo y **abortar.** Las tramas testigo y abortar son en ambos casos tramas de datos/órdenes truncadas (véase la Figura 12.22).

Trama datos/ordenes

En la Red en anillo con paso de testigo, las trama de datos/órdenes es la única de los tres tipos de trama que puede llevar una PDU y es la única que está destinada a una dirección específica en lugar de estar disponible para todo el anillo. Esta trama puede llevar datos de usuario y órdenes de gestión. Los nueve campos de la trama son el delimitador de inicio (SD), control de acceso (AC), control de trama (FC), dirección de destino (DA), dirección de origen (SA), trama PDU 802.2, CRC, delimitador final (ED) y estado de la trama (FS).

- **Delimitador de inicio (SD).** El primer campo de la trama de datos/órdenes, SD, es de un byte de longitud y se usa para alertar a la estación receptora de la llegada de una trama, así como para permitirle sincronizar su temporizador de recepción. Es equivalente al campo delimitador en el HDLC. La Figura 12.23 muestra el formato del campo SD. Las violaciones J y K se crean en el nivel físico y se incluyen en cada delimitador de inicio para asegurar la transparencia en el campo de datos. De esta forma, un patrón de bits SD que aparezca en el campo de datos no se considerará el ini-

PDU | DSAP | SSAP | Control | Información

SD	AC	FC	Dirección destino	Dirección origen	Datos	CRC	ED	FS
1 byte	1 byte	1 byte	2–6 bytes	2–6 bytes	Hasta 4.500 bytes	4 bytes	1 byte	1 byte

Datos/órdenes

SD Delimitador inicio
AC Control de acceso (prioridad)
FC Control de trama (tipo de trama)
ED Delimitador final
FS Estado de trama

SD | AC | ED — Testigo

SD | ED — Abortar

Figura 12.22. *Trama de Red en anillo con paso de testigo.*

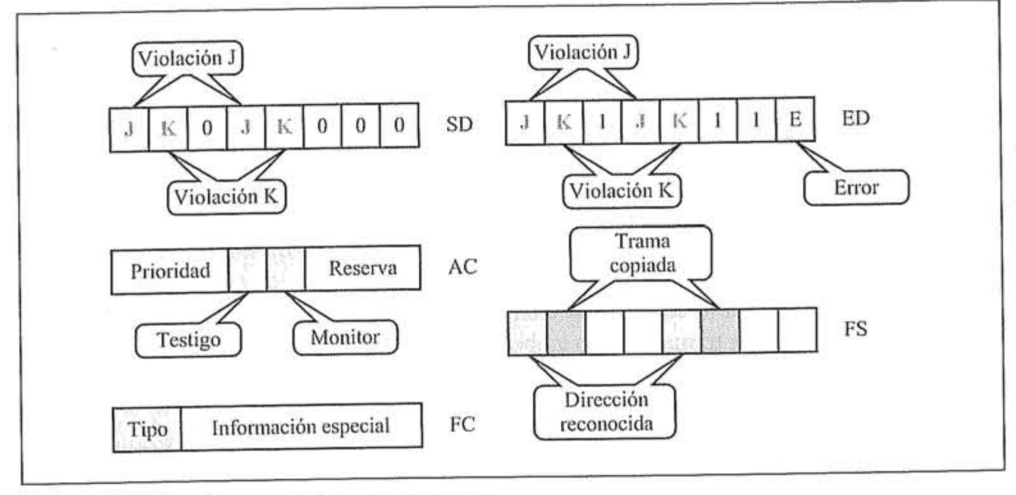


Figura 12.23. *Campos de la trama de datos.*

cio de una nueva trama. Estas violaciones se crean cambiando el patrón de codificación en la duración de un bit. Como recordará en el Manchester diferencial, cada bit puede tener dos transiciones: una al principio y otra en el medio. En la violación J, ambas transiciones se cancelan. En la violación K se cancela la transmisión del medio.

- **Control de acceso (AC).** El campo AC es de un byte de longitud e incluye cuatro subcampos (véase la Figura 12.23). Los primeros tres bits son el campo de prioridad. El cuarto bit es lo que se denomina el bit del testigo y se activa para indicar que la trama es una trama de datos/órdenes en lugar de un testigo o una trama abortar. Al bit del testigo le sigue un bit de monitor. Finalmente, los últimos tres bits son un campo de reserva que puede ser activado por las estaciones que quieren reservar el acceso al anillo.

- **Control de trama (FC).** El campo FC es de un byte de longitud y contiene dos campos (véase la Figura 12.23). El primero es un campo de un bit que se usa para indicar el tipo de información contenida en la PDU (si es información de control o datos). El segundo usa los siete bits restantes del byte y contienen información usada por la lógica de la Red en anillo con paso de testigo (por ejemplo, cómo usar la información del campo AC).
- **Dirección de destino (DA).** El campo DA, que puede variar entre dos y seis bytes, contiene la dirección física del siguiente destino de la trama. Si su dirección final es la de otra red, el campo DA contiene la dirección del encaminador a la siguiente LAN del camino. Si su destino final está en la LAN actual, el campo DA contiene la dirección física de la estación destino.
- **Dirección origen (SA).** El campo SA puede tener también entre dos y seis bytes de longitud y contiene la dirección física de la estación emisora. Si el destino final del paquete es una estación en la misma red que la estación emisora, el SA contiene la estación origen. Si el paquete ha sido encaminado desde otra LAN, el SA es la dirección física del último encaminador atravesado.
- **Datos.** El sexto campo, datos, puede tener hasta 4.500 bytes y contiene la PDU. Una trama de Red en anillo con paso de testigo no incluye la longitud de la PDU o el tipo de campo.
- **CRC.** El campo CRC tiene cuatro bytes de longitud y contiene una secuencia de detección de error CRC-32.
- **Delimitador final (ED).** El campo ED es una segunda etiqueta de un byte e indica el fin de los datos del emisor y de la información de control. Al igual que el SD, se cambia en el nivel físico para incluir la violaciones J y K. Estas violaciones son necesarias para asegurar que una secuencia de bit del campo de datos no puede ser confundida con un ED por el receptor (véase la Figura 12.23).
- **Estado de la trama (FS).** El último byte de la trama es el campo FS. Puede ser activado por el receptor para indicar que la trama ha sido leída y por el monitor para indicar que la trama ya ha circulado por el anillo. Este campo no es un reconocimiento, pero le dice a la estación emisora que la receptora ha copiado la trama, que ya puede ser descartada. La Figura 12.23 muestra el formato de un campo FS. Como se puede ver, contiene dos piezas de información de un bit: dirección reconocida y trama copiada. Estos bits se ponen al principio del campo y se repiten en los bits quinto y sexto. Esta repetición tiene el objetivo de prevenir errores y es necesaria porque el campo contiene información inserta después de que la trama haya dejado la estación emisora. Por tanto, no puede ser incluido en el CRC y no tiene ningún tipo de control de error.

Trama de testigo

Debido a que un testigo es realmente una trama de localización y reserva, incluye solamente tres campos: el SD, AC y ED. El campo SD i9ndica que viene una trama. El campo AC indica que la trama es un testigo e incluye los campos de prioridad y reserva. El campo ED indica el fin de la trama.

Trama abortar

Una trama abortar no lleva información en absoluto, sólo lleva los delimitadores de inicio y final. Puede ser generada, bien por el emisor para parar su propia transmisión (por cualquier razón), o por el monitor para purgar una transmisión vieja de la línea.

Implementación

Anillo

El anillo de una red en anillo con paso de testigo está formado por series de secciones de par trenzado blindado de 150 ohmios que enlazan cada estación con sus vecinos inmediatos (véase la Figura 12.24). Cada sección conecta un puerto de salida de una estación a un puerto de entrada de la siguiente, creando un anillo con un flujo de tráfico unidireccional. La salida de la estación final se conecta a la entrada de la primera para cerrar el anillo. Una trama se pasa de una estación a la siguiente, donde se examina, se regenera y se envía de nuevo a la siguiente estación.

> Cada estación en la red en anillo con paso de testigo regenera la trama.

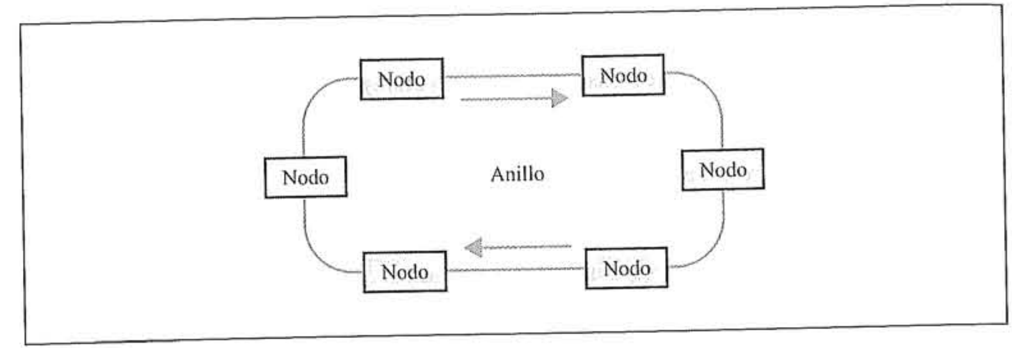


Figura 12.24. *Red en anillo con paso de testigo.*

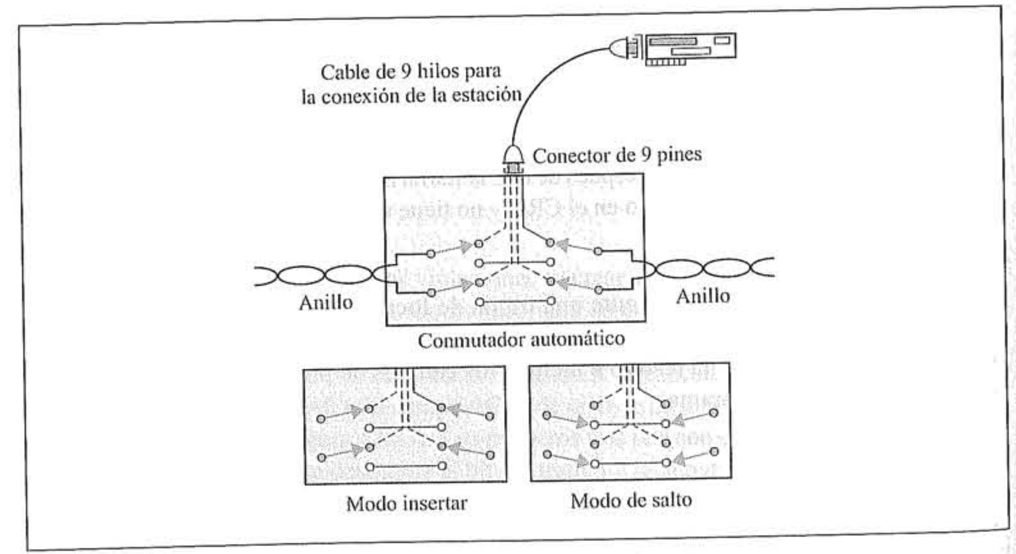


Figura 12.25. *Conmutador de una red en anillo con paso de testigo.*

Conmutador

Como muestra la Figura 12.24, configurar la red como un anillo introduce un problema potencial: un nodo desactivado desconectado podría parar el flujo de todo el tráfico en toda la red. Para resolver este problema, cada estación está conectada a un conmutador automático. Este conmutador puede saltarse una estación inactiva. Mientras que la estación está desactivada, el conmutador cierra el anillo sin ella. Cuando la estación se activa de nuevo, una señal enviada por su NIC cambiará el conmutador y volverá a poner la estación dentro del anillo (véase la Figura 12.25).

Cada NIC de una estación tiene un par de puertos de entrada y salida combinados en un conector de nueve patillas. Un cable de nueve hilos conecta el NIC al conmutador. De estos hilos, cuatro se usan para datos, y los cinco restantes se usan para controlar el conmutador (para incluir o saltarse una estación).

La Figura 12.25 muestra los dos modos de conmutación. En la primera, las conexiones pasan por la estación, incluyéndola por tanto dentro del anillo. En la segunda, se usan un par de conexiones alternativas para saltarse la estación.

Unidad de acceso multiestación (MAU Multistation Access Unit)

A efectos prácticos, los conmutadores automáticos individuales se combinan en un concentrador denominado **unidad de acceso multiestación (MAU);** véase la Figura 12.26. Un MAU puede soportar hasta ocho estaciones. Visto desde fuera, este sistema parece una estrella con el MAU en el centro, pero, como muestra la Figura 12.26, de hecho es un anillo.

12.6 FDDI

La interfaz para distribución de datos en fibra (FDDI) es un protocolo para red de área local estandarizado por el ANSI y la ITU-T (ITU-T X.3). Proporciona tasas de datos de 100 Mbps y era en su momento una alternativa de alta velocidad a la Ethernet y red en anillo con paso de testigo. Cuando se diseñó el FDDI para conseguir velocidades de 100 Mbps era nece-

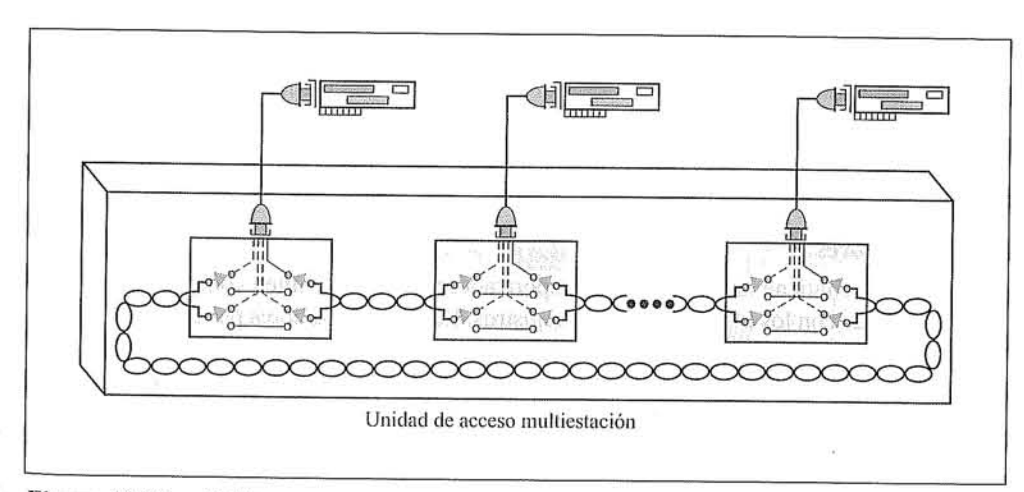


Figura 12.26. *MAU.*

sario usar cable de fibra óptica. Sin embargo, actualmente, se pueden conseguir velocidades comparables usando cables de cobre. La versión en cobre de la FDDI se conoce como CDDI.

Método de acceso: paso de testigo

En FDDI, el acceso está limitado por tiempo. Una estación puede enviar tantas tramas como pueda dentro de su ranura de tiempo, con la previsión de que los datos de tiempo real se enviarán primero.

Para implementar este mecanismo de acceso, FDDI diferencia entre dos tipos de tramas de datos: síncronas y asíncronas. En este caso, *síncrona* se refiere a la información de tiempo real, mientras que *asíncrona* se refiere a la información que no lo es. Estas tramas se denominan habitualmente tramas S y tramas A.

Cada estación que captura el testigo está obligada a enviar primero sus tramas S. De hecho, debe enviar sus tramas S tanto si su ranura de tiempo se ha agotado como si no (véase a continuación). El tiempo restante se puede utilizar para enviar tramas A. Para comprender cómo este mecanismo asegura un acceso al enlace justo y temporizado, es necesario comprender los registros de tiempo y los temporizadores de FDDI.

Registros temporales

FDDI define tres registros temporales para controlar la circulación de los testigos y distribuir las oportunidades de acceso al enlace entre los nodos de forma equitativa. Los valores se activan cuando el anillo se inicia y no cambian durante el tiempo de operación. Los registros se denominan asignación síncrona (SA), tiempo de rotación del testigo al destino (TTRT) y tiempo máximo absoluto (AMT).

Asignación síncrona (SA) El registro SA indica que la longitud del tiempo que tiene cada estación para enviar datos síncronos. Este valor es distinto para cada estación y se negocia durante la iniciación del anillo.

Tiempo de rotación del testigo hasta el destino (TTRT) El registro TTRT indica el tiempo medio necesario para que un testigo circule exactamente una vez alrededor del anillo (el tiempo transcurrido entre la llegada de un testigo a una estación determinada y su próxima llegada a la siguiente estación). Debido a que es un tiempo medio, el tiempo real de una rotación puede ser mayor o menor que este valor.

Tiempo máximo absoluto (AMT) El registro AMT mantiene un valor igual al doble del TTRT. Un testigo no puede tardar más que este tiempo en completar una vuelta al anillo. Si lo hace, alguna estación o estaciones están monopolizando la red y el anillo debe ser reiniciado.

Temporizadores

Cada estación contiene un conjunto de temporizadores que le permiten comparar los temporizadores reales con los contenidos en los registros. Los temporizadores pueden ser activados y desactivados y sus valores se pueden incrementar o disminuir a una velocidad determinada por el reloj del sistema. Los dos temporizadores usados por FDDI se denominan temporizador de rotación del testigo (TRT) y temporizador de posesión del testigo (THT).

Temporizador de rotación del testigo (TRT) El TRT funciona de forma continua y mide el tiempo real que le cuesta al testigo completar un ciclo. En nuestra implementación, se usa un TRT incremental por sencillez, aunque algunas implementaciones pueden usar un temporizador con decremento.

Temporizador de posesión del testigo (THT) El THT empieza a contar tan pronto como el testigo es recibido. Su función es mostrar cuánto tiempo se dedica al envío de tramas asíncronas una vez que se han enviado las tramas síncronas. En nuestra implementación, se usa un THT con decremento por sencillez, aunque algunas implementaciones pueden usar uno incremental. Además, permitimos que el valor del THT sea negativo (para hacer que el concepto sea más fácil de entender) aunque un temporizador real permanecería en cero.

Procedimiento en una estación

Cuando llega un testigo, cada estación sigue este procedimiento:

1. Activa THT con el valor de la diferencia entre TTRT y TRT (THT = TTRT – TRT).
2. Pone a cero el contador de TRT (TRT = 0).
3. La estación envía sus datos síncronos.
4. La estación envía sus datos asíncronos mientras el valor de THT sea positivo.

Un ejemplo

La Figura 12.27 y la Tabla 12.2 muestran cómo funciona el acceso en FDDI. Este ejemplo se ha simplificado para mostrar únicamente cuatro estaciones y se han hecho las siguientes suposiciones: el TTRT es de 30 unidades de tiempo, el tiempo necesario para que el testigo vaya de una estación a otra es una unidad de tiempo, cada estación puede enviar dos unidades de datos síncronas por turno y cada estación tiene montones de datos asíncronos para enviar (esperando en buffers).

En la vuelta 0, el testigo viaja de estación a estación; cada estación activa su temporizador TRT a 0. No hay transferencia de datos en esta vuelta.

En la vuelta 1, la estación 1 recibe el testigo en el instante 4; su TRT se pone a 4 (en la vuelta 0, el TRT era 0; esto quiere decir que ha costado 4 unidades de tiempo que el testigo vuelva). THT se activa a 26 (THT = TTRT –TRT = 30 – 4). TRT se pone a 0. Ahora la estación 1 envía 2 unidades equivalentes de datos síncronos. THT se reduce a 24 (26 – 2); por tanto, la estación 1 puede enviar 24 unidades equivalentes de datos asíncronos.

En la misma vuelta, la estación 2 sigue el mismo procedimiento. El tiempo de llegada del testigo es ahora 31 porque el testigo llegó a la estación 1 en el instante 4, fue mantenido duran-

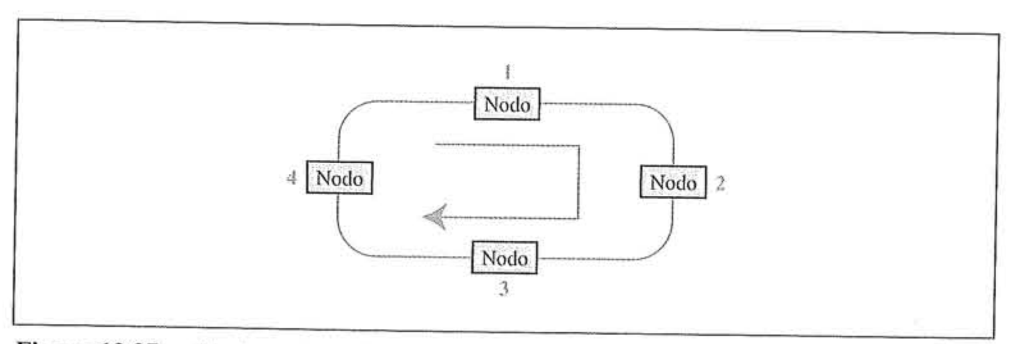


Figura 12.27. *Funcionamiento de FDDI.*

te 26 unidades de tiempo (2 para datos síncronos y 24 para datos asíncronos) y le costó una unidad de tiempo viajar entre las estaciones 1 y 2 (4 + 26 + 1 = 31).

Observe que el tiempo de asignación asíncrono se distribuye casi igualmente entre las estaciones. En la vuelta 1, la estación 1 tiene la oportunidad de enviar 24 unidades equivalentes de datos asíncronos, pero las otras estaciones no tuvieron esta oportunidad. Sin embargo, en las vueltas 2, 3 y 4, la estación 1 no tiene este privilegio, mientras las otras estaciones (uno en cada vuelta) tienen la oportunidad de enviar. En la vuelta 2, la estación 2 envió 16; en la vuelta 3, la estación 3 envió 16, y en la vuelta 4, la estación 4 envió 16.

Tabla 12.2.

Vuelta	*Estación 2*	*Estación 2*	*Estación 3*	*Estación 4*
0	Tiempo de llegada: 0 TRT = 0	Tiempo de llegada: 1 TRT = 0	Tiempo de llegada: 2 TRT = 0	Tiempo de llegada: 3 TRT = 0
1	Tiempo de llegada: 4 TRT es ahora 4 THT = 30 – 4 = 26 TRT = 0 Datos Sin: 2 THT es ahora 24 Datos Asín: 24	Tiempo de llegada: 31 TRT es ahora 30 THT = 30 – 30 = 0 TRT = 0 Datos Sin: 2 THT es ahora –2 Datos Asín: 0	Tiempo de llegada: 34 TRT es ahora 32 THT = 30 – 32 = –2 TRT = 0 Datos Sin: 2 THT es ahora –4 Datos Asín: 0	Tiempo de llegada: 37 TRT es ahora 34 THT = 30 – 34 = –4 TRT = 0 Datos Sin: 2 THT es ahora –6 Datos Asín: 0
2	Tiempo de llegada: 40 TRT es ahora 36 THT = 30 – 36 = –6 TRT = 0 Datos Sin: 2 THT es ahora –8 Datos Asín: 0	Tiempo de llegada: 43 TRT es ahora 12 THT = 30 – 12 = 18 TRT = 0 Datos Sin: 2 THT es ahora 16 Datos Asín: 16	Tiempo de llegada: 62 TRT es ahora 28 THT = 30 – 28 = 2 TRT = 0 Datos Sin: 2 THT es ahora 0 Datos Asín: 0	Tiempo de llegada: 65 TRT es ahora 28 THT = 30 – 28 = 2 TRT = 0 Datos Sin: 2 THT es ahora 0 Datos Asín: 0
3	Tiempo de llegada: 68 TRT es ahora 28 THT = 30 – 28 = 2 TRT = 0 Datos Sin: 2 THT es ahora 0 Datos Asín: 0	Tiempo de llegada: 71 TRT es ahora 28 THT = 30 – 28 = 2 TRT = 0 Datos Sin: 2 THT es ahora 0 Datos Asín: 0	Tiempo de llegada: 74 TRT es ahora 12 THT = 30 – 12 = 18 TRT = 0 Datos Sin: 2 THT es ahora 16 Datos Asín: 16	Tiempo de llegada: 93 TRT es ahora 28 THT = 30 – 28 = 2 TRT = 0 Datos Sin: 2 THT es ahora 0 Datos Asín: 0
4	Tiempo de llegada: 96 TRT es ahora 28 THT = 30 – 28 = 2 TRT = 0 Datos Sin: 2 THT es ahora 0 Datos Asín: 0	Tiempo de llegada: 99 TRT es ahora 28 THT = 30 – 28 = 2 TRT = 0 Datos Sin: 2 THT es ahora 0 Datos Asín: 0	Tiempo de llegada: 102 TRT es ahora 28 THT = 30 – 28 = 2 TRT = 0 Datos Sin: 2 THT es ahora 0 Datos Asín: 0	Tiempo de llegada: 105 TRT es ahora 12 THT = 30 – 12 = 18 TRT = 0 Datos Sin: 2 THT es ahora 16 Datos Asín: 16

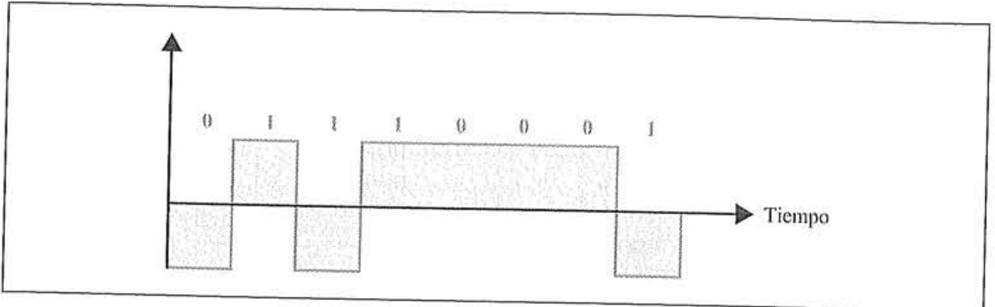


Figura 12.28. *Codificación.*

Direccionamiento

FDDI usa una dirección de seis bytes, que está impresa en su tarjeta NIC de forma similar a las direcciones Ethernet.

Especificación eléctrica

Señalización (nivel físico)

FDDI usa un mecanismo de codificación especial denominado cuatro bits/cinco bits (4B/5B). Con este sistema, cada segmento de cuatro bits de datos se reemplaza por un código de cinco bits antes de ser codificado en NRZ-I (consulte la Figura 5.6). La codificación NRZ-I que se usa aquí invierte en el 1 (véase la Figura 12.28).

La razón para que exista este paso extra de codificación es que, aunque NRZ-I proporciona sincronización adecuada bajo circunstancias medias, el emisor y el receptor pueden desincronizarse en cualquier momento que los datos incluyan una secuencia larga de ceros. La codificación 4B/5B transforma cada segmento de datos de cuatro bits en una unidad de datos de cinco bits que nunca contiene más de dos ceros consecutivos. A cada uno de los 16 patrones posibles de cuatro bits se le asigna un patrón de cinco bits para representarlo. Estos patrones de cinco bits se han seleccionado cuidadosamente de forma que incluso las unidades de datos secuenciales no puedan dar como resultado secuencias con más de tres ceros (ninguno de los patrones de cinco bits comienza con más de un cero o termina con más de dos ceros); véase la Tabla 12.3.

Los códigos de cinco bits que no se han asignado para representar su equivalente de cuatro bits se usan para control (véase la Tabla 12.4). El campo SD contiene los códigos J y K y el campo ED contiene los símbolos TT. Para garantizar que estos códigos de control no ponen en peligro la sincronización o la transparencia, los diseñadores especifican patrones de bits que no pueden ocurrir nunca en el campo de datos. Además, su orden se controla para limitar el número posible de patrones de bits secuenciales. Una K siempre sigue a una J y una H nunca es seguida por una R.

Tasa de datos

FDDI proporciona tasas de datos de hasta de 100 Mbps.

Formato de trama

El estándar FDDI divide las funciones de transmisión en cuatro protocolos: dependiente del medio físico (PMD), físico (PHY), control de acceso al medio (MAC) y control del enlace

Tabla 12.3. *Codificación 4B/5B*

Secuencia de datos	*Secuencia codificada*	*Secuencia de datos*	*Secuencia codificada*
0000	11110	1000	10010
0001	01001	1001	10011
0010	10100	1010	10110
0011	10101	1011	10111
0100	01010	1100	11010
0101	01011	1101	11011
0110	01110	1110	11100
0111	01111	1111	11101

lógico (LLC). Estos protocolos corresponden a los niveles físico y de enlace de datos del modelo OSI (véase la Figura 12.29). Además, el estándar especifica un quinto protocolo (usado para gestión de estación), cuyos detalles están fuera del ámbito de este libro.

Control de enlace lógico

El nivel LLC es similar al definido para los protocolos IEEE 802.2.

Control de acceso al medio

El nivel MAC de FDDI es casi idéntico al definido para la Red en anillo con paso de testigo. Sin embargo, aunque las funciones son similares, la trama del MAC de FDDI es suficientemente distinta para hacer necesaria una discusión independiente de cada campo (véase la Figura 12.30).

Cada trama es precedida por 16 símbolos ociosos (1111), hasta un total de 64 bits, para iniciar la sincronización del reloj con el receptor.

Campos de la trama Hay ocho campos en la trama FDDI:

- **Delimitador de inicio (SD).** El primer byte del campo es el indicador de comienzo de la trama. Al igual que en la Red en anillo con paso de testigo, estos bits se reemplazan en el nivel físico con códigos de control (violaciones) J y K (las cinco secuencias de bits usadas para representar las secuencias J y K pueden verse en la Tabla 12.4).

Tabla 12.4. *Símbolos de control 4B/5B*

Secuencia de datos	*Secuencia codificada*
Q (Vacío)	00000
I (Ocioso)	11111
H (Parada)	00100
J (Usado en delimitador inicio)	11000
K (Usado en delimitador inicio)	10001
T (Usado en delimitador de final)	01101
S (Activar)	11001
R (Desactivar)	00111

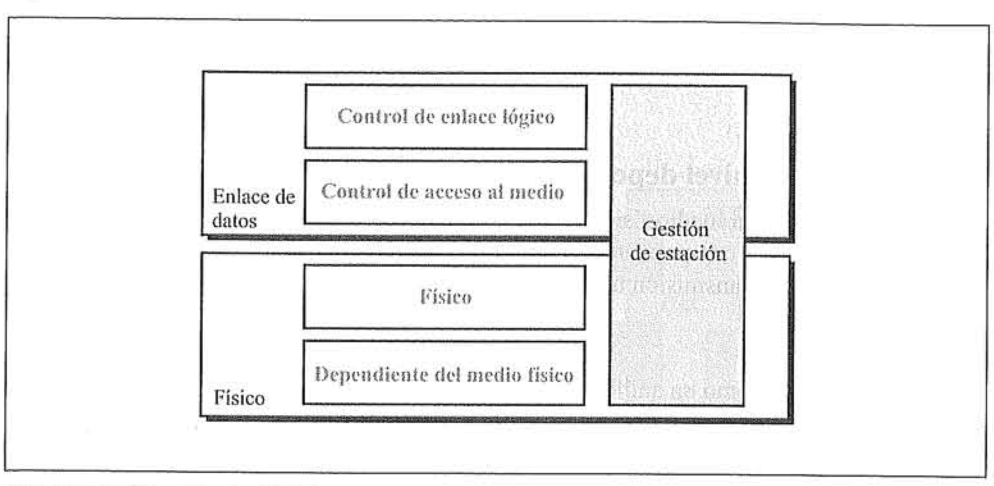


Figura 12.29. *Niveles FDDI.*

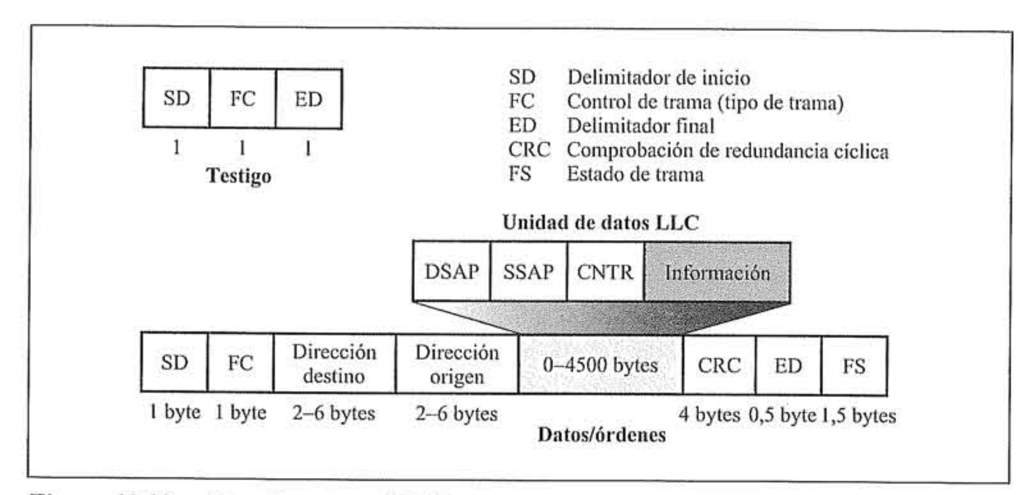


Figura 12.30. *Tipos de trama en FDDI.*

- **Control de trama (FC).** El segundo byte de la trama identifica el tipo de trama.
- **Direcciones.** Los dos campos siguientes son las direcciones del destino y del origen. Cada dirección está formada por un campo variable entre dos y seis bytes.
- **Datos.** Cada trama de datos puede llevar hasta 4.500 bytes de datos.
- **CRC.** FDDI usa el estándar del IEEE de comprobación de redundancia cíclica de cuatro bytes.
- **Delimitador de final (ED).** Este campo está formado por medio byte en una trama de datos o con un byte completo en una trama de testigo. Se cambia en el nivel físico con un símbolo de violación T en la trama de datos/órdenes o dos símbolos T en la trama de testigo. (El código para el símbolo T se muestra en la Tabla 12.4.)

- **Estado de la trama (FS).** El campo FS de FDDI es similar al de la Red en anillo con paso de testigo. Se incluye únicamente en la trama de datos/órdenes y está formado por 1,5 bytes.

Implementación: nivel dependiente del medio físico (PMD)

El nivel dependiente del medio físico (PMD, *Physical Medium Dependent*) define las conexiones necesarias y los componentes eléctricos. Las especificaciones para este nivel dependen de si el medio de transmisión usa fibra óptica o cable de cobre.

Anillo dual

FDDI se implementa como un anillo dual (véase la Figura 12.31). En la mayoría de los casos, la transmisión de datos está confinada al anillo primario. El anillo secundario está presente por si falla el primario.

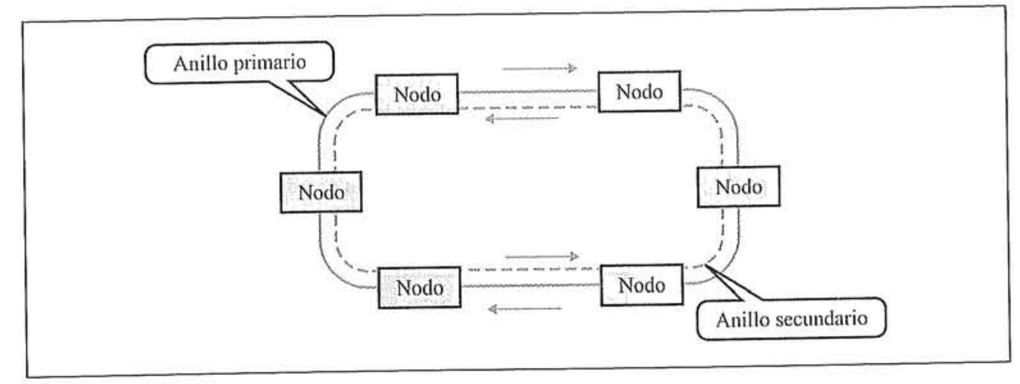


Figura 12.31. *Anillo FDDI.*

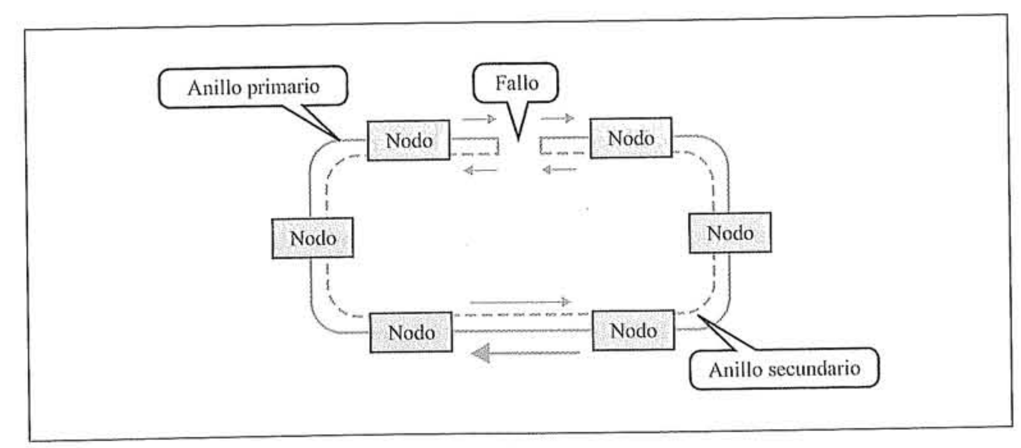


Figura 12.32. *Anillo FDDI después de un fallo.*

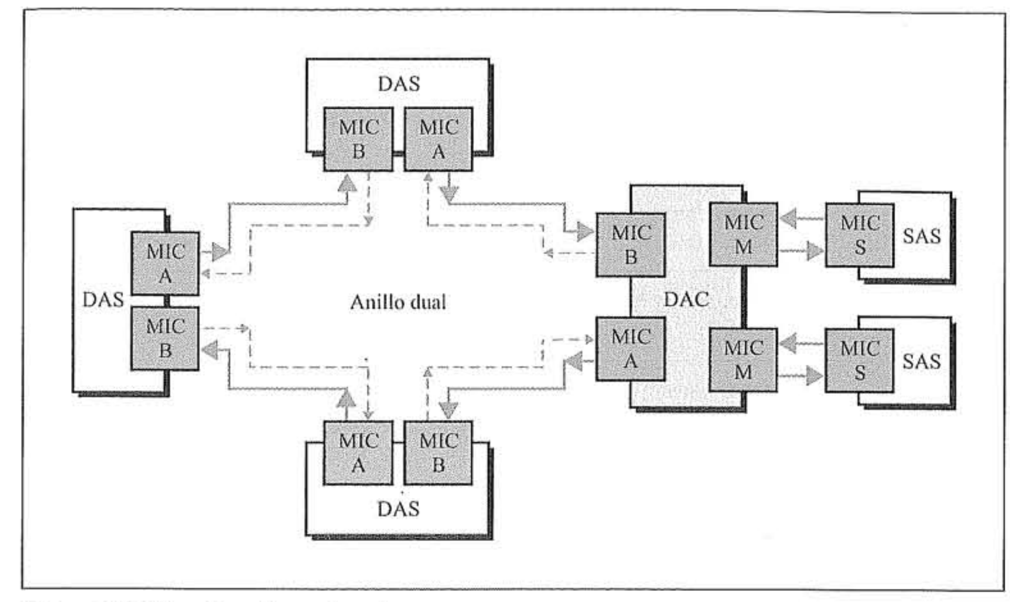


Figura 12.33. *Conexiones de nodo.*

El anillo secundario hace que FDDI sea autorreparable. Cuando ocurre un problema en el anillo primario, se puede activar el secundario para completar los circuitos de datos y mantener el servicio (véase la Figura 12.32).

Los nodos se conectan a uno o a los dos anillos usando un **conector de interfaz al medio (MIC,** *Medium Interface Connector*) que puede ser macho o hembra dependiendo de los requisitos de la estación.

Nodos

FDDI define tres tipos de nodos: estación de conexión dual (DAS), estación de conexión simple (SAS) y concentrador de conexión dual (DAC); véase la Figura 12.33.

DAS Una **estación de conexión dual (DAS,** *Dual Attachment Station*) tiene dos MIC (denominados MIC A y MIC B) y se conecta a ambos anillos. Necesita una NIC cara con dos entradas y dos salidas. La conexión a ambos anillos proporciona una fiabilidad más alta y mejores prestaciones. Sin embargo, estas mejoras están orientadas hacia estaciones que están siempre activas. Los fallos pueden ser evitados por una estación estableciendo una conexión de desvío del anillo primario al secundario para conmutar las señales de una entrada a otra salida. Sin embargo, para que las estaciones DAS puedan hacer esta conmutación, deben estar activas (encendidas).

SAS La mayoría de las estaciones, servidores y minicomputadoras, se conectan al anillo usando el modo de **estación con conexión simple (SAS,** *Single Attachment Station*). Una SAS tiene únicamente un MIC (denominado MIC S) y, por tanto, se puede conectar únicamente a un anillo. La robustez se consigue conectando cada SAS a nodos intermedios, denominados **concentradores de conexión dual (DAC,** *Dual Attachment Concentrators*), en lugar de conectarlos directamente al anillo FDDI. Esta configuración permite que cada estación

Tabla 12.5. *Comparación entre LAN*

Red	*Método de acceso*	*Señalización*	*Tasa de datos*	*Control de errores*
Ethernet	CSMA/CD	Manchester	1,10 Mbps	No
Fast Ethernet	CSMA/CD	Varios	100 Mbps	No
Gigabit Ethernet	CSMA/CD	Varios	1 Gbps	No
Red en anillo con paso de testigo	Paso de testigo	Manchester diferencial	4,16 Mbps	Sí
FDDI	Paso de testigo	4B/5B, NRZ-I	100 Mbps	Sí

opere a través de una NIC sencilla que tiene solamente una entrada y una salida. El concentrador (DAC) proporciona la conexión al anillo dual. Las estaciones que fallan se pueden apagar y saltarse para mantener el anillo vivo (véase a continuación).

DAC Como se ha dicho anteriormente, un concentrador de conexión dual (DAC) conecta una SAS con el anillo dual. Proporciona una envoltura (un desvío de tráfico de un anillo a otro para saltarse los fallos) así como funciones de control. Usa MIC M para conectarse a una SAS.

12.7. COMPARACIÓN

La Tabla 12.5 compara las características de las tres LAN tratadas anteriormente. La Ethernet es buena para cargas de bajo nivel, pero se colapsa a medida que la carga se incrementa debido a colisiones y retransmisiones. La red en anillo con paso de testigo y la FDDI dan buenas prestaciones con cargas bajas o altas.

12.8. TÉRMINOS Y CONCEPTOS CLAVE

100Base-FX
100Base-T
100Base-T4
100Base-TX
10Base-T
10Base2
10Base5
1Base5
abortar
acceso múltiple (MA)
acceso múltiple sensible a portadora (CSMA)
acceso múltiple sensible a portadora con detección de colisiones (CSMA/CD)
banda ancha
banda base
Bus con paso de testigo
cable del transceptor
campo de control de acceso (AC)
cheapernet
cheapnet
colisión
concentrador de conexión dual (DAC)

conector de interfaz al medio (MIC)
contención
control de acceso al medio (MAC)
control de enlace lógico (LLC)
delimitador de comienzo de trama (SFD)
dirección destino (DA)
dirección origen (SA)
estación con conexión única (SAS)
estación de conexión dual (DAS)
estación monitora
Ethernet
Ethernet conmutada
Ethernet de cable fino
Ethernet de cable grueso
Ethernet de par trenzado
Ethernet Gigabit
Fast Ethernet
IEEE 802.1
IEEE 802.2
IEEE 802.3
IEEE 802.4
IEEE 802.5
IEEE Proyecto 802
interconexión de redes
interfaz de unidad de conexión (AUI)
interfaz para distribución de datos en fibra (FDDI)
LAN estrella
paso de testigo
pinza vampiro
preámbulo
Proyecto 802
red de área local (LAN)
Red en anillo con paso de testigo
tarjeta de interfaz a la red (NIC)
testigo
Thicknet
Thinnet
transceptor
unidad de acceso multiestación (MAU)
unidad de conexión al medio (MAU)
unidad de datos de protocolo (PDU)

12.9. RESUMEN

- El objetivo del Proyecto 802 del IEEE era definir estándares para que los equipos LAN fabricados por distintas empresas pudieran ser compatibles.
- El Proyecto 802 divide el nivel de enlace de datos en los subniveles:
  a. Control de enlace lógico (LLC).
  b. Control de acceso al medio (MAC).
- El LLC es el subnivel superior y es igual para todas las LAN. Sus funciones incluyen control de flujo y detección de errores. Las direcciones lógicas, la información de control y los datos de los niveles superiores se empaquetan en un paquete denominado unidad de datos del protocolo (PDU).
- El subnivel MAC coordina las tareas de enlace de datos dentro de una LAN específica.
- El subnivel MAC es específico de cada fabricante y depende del tipo de LAN.
- Tres LAN especificadas por el Proyecto 802 son las siguientes:
  a. Ethernet (802.3).
  b. Bus con paso de testigo (802.4).
  c. Anillo con paso de testigo (802.5).

- CSMA/CD funciona de la forma siguiente: cualquier estación puede escuchar la línea para determinar si está vacía. Si está vacía puede comenzar su transmisión. Si hay colisiones, la transmisión se para y es necesario repetir el proceso.
- La Ethernet conmutada, Fast Ethernet y Gigabit Ethernet son implementaciones de Ethernet con prestaciones y tasas de datos mejoradas.
- En la Ethernet conmutada, un conmutador que puede redirigir la transmisión a su destino reemplaza al concentrador.
- En la Fast Ethernet, la tasa de datos ha aumentado a 100 Mbps, pero el dominio de colisión se ha reducido a 250 metros.
- Las cuatro implementaciones de la Fast Ethernet difieren en el tipo de medio, número de cables, dominio de colisión y método de codificación.
- La Ethernet Gigabit, con una tasa de datos de 1 Gbps, sirve como troncal para conectar redes Fast Ethernet.
- Las cuatro implementaciones de Ethernet Gigabit difieren en el origen de la señal, el tipo de medio y los dominios de colisión.
- El Bus con paso de testigo (IEEE 802.4), usado en automatización de fábricas y control de procesos, combina características de la Ethernet y la Red en anillo con paso de testigo.
- La red en anillo con paso de testigo (IEEE 802.5) emplea el paso de testigo como método de inicio de la transmisión.
- Los conmutadores en una red en anillo con paso de testigo se pueden agrupar en unidades de acceso multiestación (MAU).
- La captura de una trama, denominada testigo, permite a una estación de una Red en anillo con paso de testigo enviar una trama de datos.
- En la red en anillo con paso de testigo, una trama viaja de nodo a nodo, siendo regenerada en cada nodo, hasta que alcanza el destino.
- La interfaz para distribución de datos en fibra (FDDI) es un protocolo LAN que usa fibra óptica como medio y alcanza una tasa de datos de 100 Mbps.
- La FDDI está formada por un anillo primario para transmisión de datos y un anillo secundario que se activa ante la ocurrencia de fallos.
- Un conector de interfaz al medio (MIC) es un dispositivo que conecta el anillo dual FDDI a un nodo.
- Una estación de conexión dual (DAS) es un nodo con 2 MICs.
- Una estación de conexión simple (SAS) es un nodo común MIC. Un SAS debe conectarse a los anillos FDDI a través de un concentrador de conexión dual (DAC).
- FDDI especifica protocolos para los niveles físico y de enlace de datos.
- El nivel de enlace de datos de FDDI está formado por un subnivel LLC y un subnivel MAC. El primero es similar al especificado en el Proyecto 802.2 del IEEE. El último es similar al protocolo de red en anillo con paso de testigo (802.5).
- En el nivel físico, el FDDI usa codificación 4B/5B, un proceso que convierte 4 bits en 5 bits.
- La codificación 4B/5B asegura que no se puede transmitir una secuencia de datos con más de tres ceros usando el protocolo FDDI. Esto sirve par resolver los problemas de sincronización de los bits que surgen cuando hay tiras largas de ceros en la codificación NRZ-I.

- En el protocolo FDDI, la posesión del testigo se controla mediante tres valores de tiempo y dos temporizadores.

12.10. MATERIAL PRÁCTICO

Preguntas de revisión

1. Defina y explique el nivel de enlace de datos en el Proyecto 802 del IEEE. ¿Por qué se ha dividido este nivel en varios subniveles?
2. Explique el CSMA/CD y cómo se usa. ¿Qué parte del Proyecto 802 usa CSMA/CD?
3. Compare y contraste los SSAP y DSAP de la PDU con las direcciones fuente y destino de la trama MAC.
4. Explique por qué no hay direcciones físicas, indicadores o campos CRC en una PDU.
5. ¿Cómo está relacionado el Proyecto 802 con el nivel físico del modelo OSI?
6. Compare la trama del Proyecto 802.3 del IEEE con la trama I de HDLC.
7. Compare la trama de datos/órdenes del Proyecto 802.5 del IEEE con la trama I de HDLC.
8. ¿Cuál es la diferencia entre banda base y banda ancha?
9. Explique la colocación de los transceptores en los estándares 10Base5, 10Base2 y 10Base-T.
10. ¿Qué es una colisión?
11. ¿Cuáles son las ventajas de FDDI sobre una red en anillo con paso de testigo básica?
12. ¿Por qué no hay campo AC en la trama 802.3?
13. Explique los mecanismos por los que una SAS es capaz de acceder tanto a los anillos primarios como a los secundarios.
14. ¿Cómo garantiza la codificación 4B/5B que no habrá secuencias de cuatro o más ceros en el campo de datos?
15. ¿Qué tipos de medios de transmisión se usan en las LAN?
16. ¿Cómo funciona una LAN con Red en anillo con paso de testigo?
17. Suponga que hay un tráfico muy pesado en una LAN CSMA/CD y Red en anillo con paso de testigo. ¿En qué sistema es más probable que una estación espere más tiempo para enviar una trama? ¿Por qué?
18. ¿Por qué debería haber menos colisiones en una red Ethernet conmutada comparada con una Ethernet tradicional?
19. ¿Cómo está relacionado el dominio de colisión con la tasa de datos en las redes Ethernet?
20. ¿Por qué es la distancia máxima entre el conmutador o el concentrador y una estación mayor para 100Base-FX que para 100Base-TX?
21. Compare las tasas de transmisión de datos para la Ethernet tradicional, Fast Ethernet y Ethernet Gigabit.

Preguntas con respuesta múltiple

22. En CSMA/CD, el número de colisiones es ____ en MA.
   a. mayor que
   b. menor que
   c. igual a
   d. doble

23. En Ethernet, el campo dirección de origen en la trama MAC es ____.
    a. la dirección física del emisor original
    b. la dirección física de la estación previa
    c. la dirección física de la estación siguiente
    d. el puerto de servicio del emisor original
24. La contraparte del campo de preámbulo de la trama 802.3 es el campo ____ de la trama 802.5.
    a. SD
    b. AC
    c. FC
    d. FS
25. _____ usa una topología física en estrella.
    a. 10Base5
    b. 10Base2
    c. 10Base-T
    d. Ninguna de las anteriores
26. 10Base2 usa cable _____, mientras 10Base5 usa ____.
    a. coaxial grueso, coaxial fino
    b. par trenzado, coaxial grueso
    c. coaxial fino, coaxial grueso
    d. fibra óptica, coaxial fino
27. 10Base2 y 10Base5 tienen distintos ____.
    a. tipos de bandas de señales
    b. campos en la trama 802.3
    c. longitud máxima de segmentos
    d. tasas de transmisión máximas
28. _____ especifica una topología en estrella formada por un concentrador central y un encadenamiento en margarita.
    a. 10Base5
    b. 10Base2
    c. 10Base-T
    d. 1Base5
29. La/el ____ es un producto del subnivel LLC.
    a. Trama 802.3
    b. Trama 802.5
    c. PDU
    d. preámbulo
30. La estación monitora del estándar _____ asegura que uno y solamente un testigo circula por la red.
    a. 802.3
    b. 802.5
    c. FDDI
    d. todos los anteriores
31. La/el ____ incluye dos conmutadores en una red en anillo con paso de testigo.
    a. NIC
    b. MAU
    c. conector de nueve patillas
    d. transceptor

32. ¿Qué puede ocurrir en una estación de una red en anillo con paso de testigo?
    a. examen de la dirección destino
    b. regeneración de la trama
    c. paso de la trama a la siguiente estación
    d. todos los anteriores
33. En la red en anillo con paso de testigo, ¿dónde está el testigo cuando hay una trama de datos en circulación?
    a. en la estación receptora
    b. en la estación emisora
    c. circulando por el anillo
    d. ninguna de las anteriores
34. En la red en anillo con paso de testigo, cuando una trama alcanza su estación destino, ¿qué es lo que ocurre a continuación?
    a. se copia el mensaje
    b. se cambian cuatro bits en el paquete
    c. el mensaje se quita del anillo y se reemplaza con el testigo
    d. a y b
35. ¿Cuál de las siguientes no es una función del transceptor?
    a. transmitir y recibir los datos
    b. comprobar los voltajes de la línea
    c. suma y resta de cabeceras
    d. detección de colisión
36. ¿Cuál de los siguientes tipos de trama se especifican en el estándar 802.5?
    a. testigo
    b. abortar
    c. datos/órdenes
    d. todos los anteriores
37. ¿Qué estándar del Proyecto 802 proporciona un protocolo libre de colisiones?
    a. 802.2
    b. 802.3
    c. 802.5
    d. 802.6
38. ¿Qué LAN tiene la tasa de datos más alta?
    a. 10Base5
    b. 10Base-T
    c. Red en anillo de par trenzado con paso de testigo
    d. FDDI
39. Otro término para el estándar de CSMA/CD y el IEEE 802.3 es _____.
    a. Ethernet
    b. Red en anillo con paso de testigo
    c. FDDI
    d. Bus con paso de testigo
40. El Proyecto 802 del IEEE divide el nivel de enlace de datos en un subnivel superior _____ si un subnivel inferior _____.
    a. LLC, MAC
    b. MAC, LLC
    c. PDU, HDLC
    d. HDLC, PDU

41. FDDI es un acrónimo para _____.
   a. interfaz de entrega rápida de datos
   b. interfaz de datos distribuidos de fibra
   c. interfaz digital distribuida de fibra
   d. interfaz rápida de datos distribuidos
42. En FDDI, los datos viajan normalmente en ___.
   a. el anillo primario
   b. el anillo secundario
   c. ambos anillos
   d. ningún anillo
43. ¿Cuál es el objetivo principal del anillo secundario en el protocolo FDDI?
   a. si el anillo primario falla, el secundario toma su lugar
   b. si el anillo primario falla, el primario establece una conexión de desvío al secundario para reparar el anillo
   c. el secundario alterna con el primario la transmisión de datos
   d. el secundario se usa para enviar mensajes de emergencia cuando el primario está ocupado
44. ¿Qué tipo de nodo tiene dos MIC y se conecta a ambos anillos?
   a. SAS
   b. DAS
   c. DAC
   d. b y c
45. ¿Qué tipo de nodo tiene solo un MIC y se puede conectar a un único anillo?
   a. SAS
   b. DAS
   c. DAC
   d. a y b
46. ¿En qué niveles OSI opera el protocolo FDDI?
   a. físico
   b. enlace de datos
   c. red
   d. a y b
47. ¿Qué campos de la trama MAC del FDDI son variables?
   a. preámbulos
   b. campos de dirección
   c. campos de datos
   d. b y c
48. ¿Cuál de las siguientes no es una secuencia legítima 4B/5B?
   a. 1110001010
   b. 1010001111
   c. 1110001001
   d. 1110000111
49. En _____ una trama va únicamente a su destino en lugar de a todas las estaciones.
   a. Ethernet tradicional
   b. Ethernet conmutada
   c. Red en anillo con paso de testigo
   d. a y b
50. En _____ una trama va a todas las estaciones.
   a. Ethernet tradicional
   b. Ethernet conmutada
   c. Red en anillo con paso de testigo
   d. a y b
51. El dominio de colisión es la distancia _____ que los datos viajan entre dos estaciones.
   a. mínima
   b. máxima
   c. virtual
   d. a y b
52. El dominio de colisiones de la Ethernet tradicional es _____ metros; el dominio de colisión de la Fast Ethernet es _____ metros.
   a. 250; 250
   b. 250; 2.500
   c. 2.500; 250
   d. 2.500; 2.500
53. En una red Ethernet, si el tiempo de ida y vuelta _____, el dominio de colisión _____.
   a. aumenta; disminuye
   b. disminuye; disminuye
   c. disminuye; aumenta
   d. ninguna de las anteriores
54. La 100Base-X difiere de la 100Base-T4 en _____.
   a. la tasa de transmisión de datos
   b. topología
   c. el formato de la trama
   d. el número de cables entre la estación y el concentrador
55. La distancia entre la estación y el concentrador en ____ es 2.000 metros.
   a. 100Base-TX
   b. 100Base-FX
   c. 100Base-T4
   d. 100Base-T1
56. La _____ usa un esquema de codificación 8B/6T.
   a. 100Base-TX
   b. 100Base-FX
   c. 100Base-T4
   d. 100Base-T1
57. La Ethernet Gigabit tiene una tasa de datos _____ que la Fast Ethernet y un dominio de colisión _____.
   a. mayor; mayor
   b. mayor; menor
   c. menor; menor
   d. menor; mayor

Ejercicios

58. ¿Cuál es el tamaño mínimo de una trama Ethernet? ¿Cuál es el tamaño máximo de una trama Ethernet?
59. ¿Cuál es el tamaño mínimo de una trama de datos de red en anillo con paso de testigo? ¿Cuál es el tamaño máximo de una trama de datos en una red en anillo con paso de testigo?
60. ¿Cuál es la proporción entre los datos útiles y el total del paquete para la trama mínima en Ethernet? ¿Cuál es la proporción para la trama máxima? ¿Cuál es la proporción media?

61. ¿Cuál es la proporción entre los datos útiles y el paquete entero para la trama más pequeña en una red en anillo con paso de testigo? ¿Cuál es la proporción para la trama máxima? ¿Cuál es la proporción media?
62. ¿Por qué piensa que una trama Ethernet debería tener un tamaño de datos mínimo?
63. Imagine que la longitud de un cable 10Base5 es 2.500 metros. Si la velocidad de propagación en un cable coaxial grueso es el 60 % de la velocidad de la luz (300.000.000 metros/segundo), ¿cuánto le costaría a un bit viajar del principio al final de la red? Ignore los retrasos de propagación en el equipo.
64. Usando los datos del Ejercicio 63, halle el máximo tiempo que costaría detectar una colisión. El caso peor se produce cuando los datos se envían de un extremo del cable a otro y la colisión ocurre en el extremo opuesto. Recuerde que la señal necesita hacer el camino de ida y vuelta.
65. La tasa de datos de una 10Base5 es 10 Mbps. ¿Cuánto le costaría crear la trama más pequeña? Muestre sus cálculos.
66. Usando los datos de los Ejercicios 64 y 65, halle el tamaño mínimo de una trama Ethernet para que la colisión de detecciones funcione apropiadamente.
67. Imagine que la longitud del anillo de una red en anillo con paso de testigo es 1.000 metros. Si la velocidad de propagación en un cable de par trenzado es el 60 % de la de la luz (300.000.000 metros/segundo), ¿cuánto le costaría a un bit dar una vuelta completa?
68. En una Red en anillo con paso de testigo de 16 Mbps, la longitud del testigo es de 3 bytes. ¿Cuánto le costaría a una estación producir un testigo?
69. Para que una Red en anillo con paso de testigo funcione adecuadamente, el primer bit de datos no debería volver al lugar donde fue generado hasta que toda la trama haya sido generada. Puesto que el testigo tiene una longitud de 3 bytes, ¿cuál debería ser la longitud mínima del anillo para que este método de paso con testigo funcionara adecuadamente? Use el resultado de los Ejercicios 67 y 68.
70. Codifique el siguiente flujo de bits usando codificación 4B/5B:
1101011011101111
71. ¿Cuál es la relación de bits redundantes en 4B/5B?
72. Usando la Tabla 12.6 como guía, compare las tramas de Ethernet y red en anillo con paso de testigo.

Tabla 12.6. *Ejercicio 72*

Característica	*Ethernet*	*Red en anillo*
Preámbulo		
SFD		
SD		
AC		
FC		
Dirección destino		
Dirección origen		
Tamaño de datos		
CRC		
ED		
FS		

CAPÍTULO 13
Redes de área metropolitana

Una **red de área metropolitana** (**MAN,** *metropolitan area network*) es una red diseñada para cubrir una ciudad entera. Cuando redes de área local (LAN) muy próximas entre sí necesitan intercambiar datos, se pueden conectar de forma privada utilizando cables y encaminadores o pasarelas. Sin embargo, cuando una empresa se encuentra distribuida en un área geográfica más grande (como una ciudad o un campus grande), la conexión a través de una infraestructura privada es impracticable. La mayoría de las organizaciones, aunque pudiesen tender cables sobre terrenos públicos, consideran que es más adecuado emplear los servicios ya existentes como los que ofrecen las compañías telefónicas.

Uno de estos servicios es el servicio de datos conmutados multimegabit (SMDS, *Switched Multimegahabit Data Services*), que normalmente utiliza otro protocolo denominado bus dual de cola distribuida (DQDB, *Distributed Queue Dual Bus*). En este capítulo, se presenta en primer lugar el DQDB y a continuación el sistema SMDS.

13.1. IEEE 802.6 (DQDB)

Además de los protocolos presentados en el Capítulo 12, otro protocolo existente dentro del proyecto 802 del IEEE (**IEEE 802.6**) es el **bus dual de cola distribuida** (**DQDB**). Aunque DQDB parece un estándar para redes de área local, se diseñó para ser utilizado en MAN.

Método de acceso: bus dual

Como su nombre implica, DQDB utiliza una configuración de **bus dual:** cada dispositivo en el sistema se conecta a dos enlaces troncales. El acceso a estos enlaces no se obtiene mediante conexión (como en IEEE 802.3) o paso de testigo (como en los estándares 802.4 y 802.5), sino mediante un mecanismo denominado de colas distribuidas.

La Figura 13.1 muestra una topología DQDB. En esta figura, los dos buses unidireccionales se encuentran etiquetados como el Bus A y el Bus B. En la figura se muestran cinco estaciones numeradas conectadas a los buses. Cada bus se conecta directamente a las estaciones utilizando puertos de entrada y de salida; no se utilizan líneas de conexión.

Tráfico direccional

Cada bus soporta tráfico en un solo sentido. El sentido del tráfico en un bus es opuesto al sentido del tráfico en el otro. En la Figura 13.1, por ejemplo, en el que el comienzo de cada

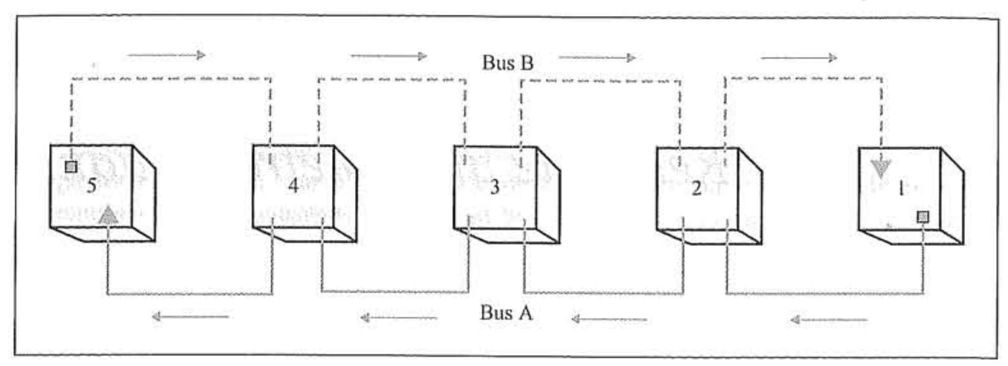


Figura 13.1. *Nodos y buses DQDB.*

bus se representa mediante un cuadrado y el final mediante un triangulo, el tráfico del Bus A se desplaza de derecha a izquierda. El bus comienza en la estación 1 y termina en la estación 5. El tráfico en el bus B se transfiere de derecha a izquierda. El bus comienza en la estación 5 y termina en la estación 1.

Estaciones con flujo ascendente y con flujo descendente. Las relaciones entre las estaciones de una red DQDB dependen del sentido del tráfico en el bus. Tal y como está configurado el bus A, las estaciones 1 y 2 se consideran de flujo ascendente en relación a la estación 3, y las estaciones 4 y 5 se consideran de flujo descendente en relación a la estación 3. En el ejemplo de la Figura 13.1, la estación 1 no tiene estaciones con flujo ascendente pero tiene cuatro estaciones con flujo descendente. Por esta razón, se considera que la estación 1 se encuentra a la cabeza del bus A. La estación 5 no tiene estaciones con flujo descendente pero tiene cuatro estaciones con flujo ascendente; por ello se considera que se encuentra al final del Bus A.

Tal y como está configurado el Bus B, las estaciones 1 y 2 se consideran de flujo descendente en relación a la estación 3, y las estaciones 4 y 5 se consideran de flujo ascendente en relación a la estación 3. En este caso, la estación 5 no tiene estaciones con flujo ascendente pero tiene cuatro estaciones con flujo descendente. Es, por tanto, la cabeza del bus B. La estación 1 no tiene estaciones con flujo descendente, pero tiene cuatro estaciones con flujo ascendente; por tanto, es el final del bus B.

Ranuras de transmisión

Los datos se transmiten por el bus como un flujo regular en ranuras temporales de 53 bytes. Estas ranuras no son paquetes; sólo son un flujo continuo de bits. La cabecera del Bus A (la estación 1 en la Figura 13.1) genera ranuras vacías para su uso en el Bus A. La cabecera del bus B (estación 5) genera ranuras vacías para su uso en el Bus B. La velocidad depende del número de ranuras por segundo generadas. Hoy en día se utilizan diferentes velocidades.

Una ranura vacía circula por el bus hasta que una estación que transmite inserta datos en ella y la estación destino lee los datos. Sin embargo, ¿qué bus elegirá una estación origen para transmitir datos a una estación destino? La estación origen debe elegir aquel bus en el que la estación destino se encuentre en el flujo descendente. Esta regla es bastante intuitiva. Las ranuras viajan en cada bus desde la estación que hace de cabecera hasta su estación final. Dentro de cada bus, las ranuras se desplazan hacia la siguiente estación con flujo descendente. Si una estación quiere enviar datos, debe elegir el bus cuyo tráfico se encamine hacia su destino.

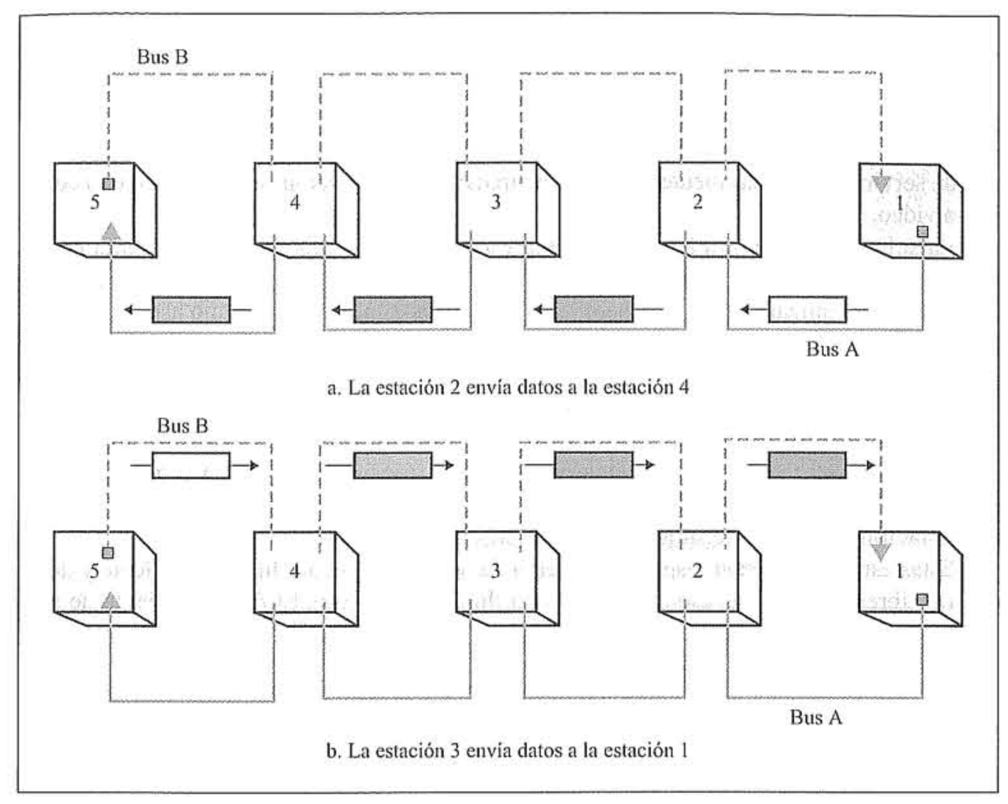


Figura 13.2. *Transmisión de datos en DQDB.*

La estación origen debe elegir el bus en el que la estación destino en el flujo descendente del bus.

La Figura 13.2a muestra a la estación 2 enviando datos a la estación 4. La estación 2 elige una ranura del Bus A debido a que este bus transmite un flujo descendente desde la estación 2 hacia la estación 4. El proceso de transmisión se realiza de la siguiente manera: la estación de cabecera en el Bus B (estación 1) crea una ranura vacía. La estación 2 introduce sus datos en la ranura y encamina la ranura a la estación 4. La estación 3 lee la dirección y pasa la ranura como no leída. La estación 4 reconoce su dirección. Lee los datos y cambia el estado de la ranura a «leída» antes de pasarla a la estación 5, donde la ranura es absorbida.

En la Figura 13.2b, la estación 3 necesita enviar datos a la estación 1. La estación 1 está en el flujo descendente de la estación 3 en el Bus; por tanto, se elige este bus para transmitir los datos. La cabecera del bus (en este caso, la estación 5) crea una ranura vacía y la envía por el bus. La estación 4 ignora la ranura (la razón de por qué esto es así se describe más adelante) y la pasa a la estación 3. La estación 3 inserta sus datos en la ranura y encamina la ranura a la estación 1. La estación 2 lee la dirección y retransmite la ranura sin leer. La estación 1 reconoce su dirección, lee los datos y descarta la ranura utilizada. Observe que la estación 1 se encuentra al final del bus; por tanto, no marca la ranura como leída, simplemente descarta la trama una vez leídos los datos.

Reserva de ranuras Para enviar datos, una estación debe esperar la llegada de una ranura no ocupada. ¿Qué impide, sin embargo, a una estación con flujo ascendente, monopolizar el bus ocupando todas las ranuras? ¿Deberían las estaciones cercanas al final del bus tener problemas debido a que las estaciones con flujo ascendente tiene acceso a las ranuras vacías antes que ellas? Este desequilibrio puede ser más que una injusticia, puede degradar la calidad de servicio, particularmente si el sistema transmite información sensible al tiempo como voz o vídeo.

La solución a este problema es obligar a que las estaciones reserven las ranuras que deseen. Pero si observa de nuevo la Figura 13.2, comprobará que existe un problema. Una estación debe realizar una reserva para impedir que las estaciones con flujo ascendente utilicen las ranuras del bus. Pero, ¿como puede la estación 2 realizar una reserva del Bus A? ¿Cómo puede comunicar su reserva a la estación 1? La solución, por supuesto, es que la estación 2 realice la reserva del Bus A utilizando el Bus B, que transporta tráfico en el otro sentido. La estación 2 pone a 1 un bit de reserva en una ranura del Bus B para indicar a cada estación por la que pase que una estación está reservando el Bus A. La ranura pasa por todas las estaciones con flujo descendente desde la estación 2 sobre el Bus B –las mismas estaciones que son de flujo ascendente en el Bus A.

Estas estaciones deben respetar la reserva de una estación con flujo descendente y dejar ranuras libres para que las use la estación con flujo descendente. El funcionamiento de este proceso se describirá más adelante. Por el momento, recuerde que para enviar datos por un bus, una estación debe realizar una reserva en el otro bus. Otro aspecto importante del proceso de reserva es que ninguna estación puede enviar datos sin haber hecho una reserva previa, incluso aunque la ranura que pase por la estación esté vacía. Las ranuras vacías pueden haber sido reservadas por estaciones situadas en el flujo descendente. De hecho, aunque una estación haya hecho una reserva no puede utilizar cualquier ranura libre. Debe esperar la llegada de la ranura específica que ha reservado.

> Para enviar datos por un bus, una estación debe hacer una reserva utilizando el otro bus.

Colas distribuidas

Para realizar las reservas y conocer las reservas hechas por otras estaciones del bus, cada estación debe almacenar dos **colas,** una para cada bus. Cada estación tiene una cola para el Bus A, llamada cola A, y otra para el Bus B, llamada cola B.

Una cola es un mecanismo de almacenamiento con funcionalidad FIFO (primero en entrar, primero en salir). Se puede comparar con la lista de espera de un restaurante. Cuando llega un cliente se le apunta en una lista. El primer cliente de la lista es el que se sienta en primer lugar. De esta forma, una cola DQDB es esencialmente una lista de espera para utilizar ranuras libres. La Figura 13.3 muestra una visión conceptual de una cola. Los elementos se insertan por la cola y se extraen del frente a medida que la cola avanza.

Recuerde que cada estación mantiene dos colas, la Cola A y la Cola B. La Figura 13.4 muestras estas dos colas en una estación.

Uso de la cola para acceder al bus

Por simplicidad, se va a examinar la cola A. La estación X se añade a su propia Cola A para reservar espacio en el Bus A. Para hacer esto, necesita conocer cuántas estaciones en el flujo

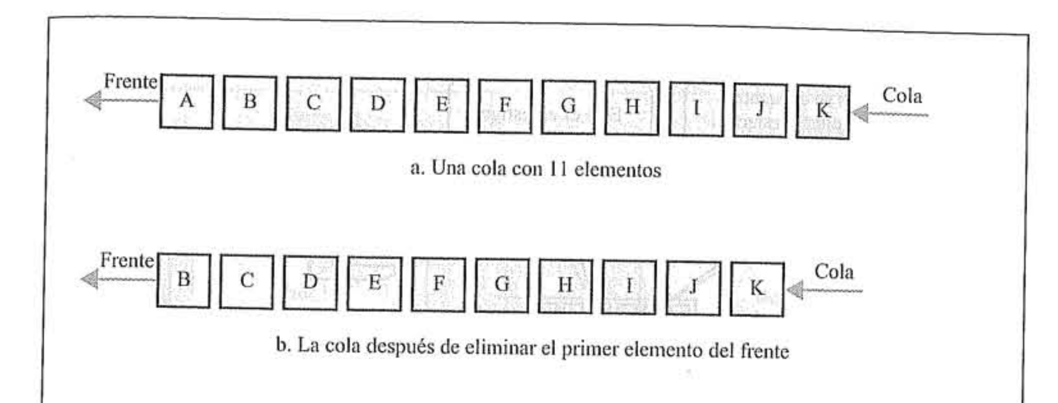


Figura 13.3. *Colas.*

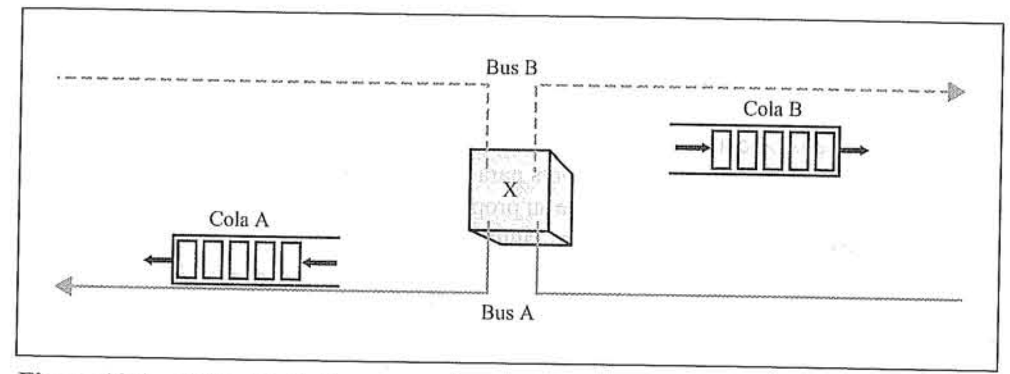


Figura 13.4. *Colas distribuidas en un nodo.*

descendente ya han hecho peticiones de ranuras en el Bus A. Para contabilizar estas reservas, utiliza testigos virtuales. Añade un testigo al final de la cola cada vez que pasa por el Bus B una ranura con el bit de reserva activado. Cuando la estación necesita hacer una reserva, activa uno de los bits de reserva en una ranura que pase por el Bus B (la ranura puede o no estar ocupada, siempre que se encuentre disponible un bit de petición). La estación inserta luego su propio testigo en la Cola A. Este testigo, sin embargo, es diferente a los otros para indicar que corresponde a una petición realizada por la propia estación (véase la Figura 13.5).

Cada vez que la estación lee su Cola A, puede saber cuántas reservas se han realizado sin más que contabilizar el número de testigos en la cola. La estación también puede saber cuántas ranuras debe dejar pasar antes de capturar una ranura para ella. La estación vigila las ranuras no ocupadas que pasan por el Bus A. Para cada ranura vacía que pase, elimina y descarta el testigo del frente de la cola. Cuando ve un ranura vacía y comprueba que el testigo extraí-

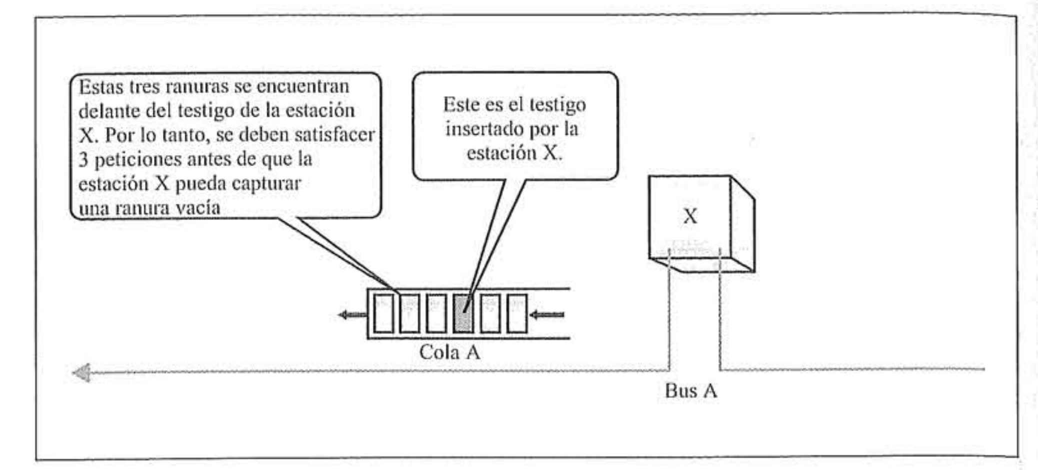


Figura 13.5. *Testigo de reserva en una cola.*

do de la cola es el suyo, descarta el testigo y captura la ranura vacía insertando sus propios datos. La estación sabe que ha satisfecho las reservas realizadas por las estaciones con flujo descendente dejando que pasen el mismo número de ranuras vacías que testigos hay en su propia cola.

Volviendo de nuevo a la Figura 13.2, se va a examinar el funcionamiento de cada una de las cinco estaciones con relación al Bus A.

La estación 1 es responsable de la creación de las ranuras. Crea de forma continúa ranuras y las inserta en el Bus A. Para utilizar una de estas ranuras para el envío de datos, debe esperar su turno en la Cola A, al igual que el resto de estaciones. Si hay testigos en el frente de la cola, la estación 1 libera ranuras libres para las estaciones situadas en el flujo descendente (las estaciones 2, 3, 4 y 5) hasta que su propio testigo sea el primero de la cola. En ese momento, inserta sus propios datos en una ranura y activa el bit de ranura ocupada (a 1 para su activación) antes de liberar la ranura en el bus.

El funcionamiento en las estaciones 2, 3 y 4 es esencialmente el mismo que para la estación 1, excepto que estas estaciones no crean ranuras. En su lugar, comprueban las ranuras vacías que pasan. Para cada ranura vacía, cada estación elimina un testigo de su Cola A, hasta que elimina su propio testigo. En ese momento, captura la siguiente ranura vacía, inserta los datos en ella, activa el bit de ocupada y libera la ranura de nuevo al bus.

La estación 5, por otro lado, no puede enviar datos por el Bus A (no hay estaciones situadas en el flujo descendente más allá de la estación 5 en el Bus A). En realidad, no necesita una Cola A, aunque puede contener una cola A por compatibilidad en caso de que se añada una estación en el flujo descendente en el futuro.

La descripción anterior también se aplica al Bus B, con la diferencia de que en el Bus B la estación 5 crea y libera las ranuras y la estación 1 no necesita una Cola B.

Estructura de la cola

El estándar DQDB indica de forma explícita cómo deben utilizarse las colas lógicas A y B. Sin embargo, el diseño de cada cola se deja a los implementadores. Las redes y estaciones pueden simular las operaciones de las colas siempre que estas simulaciones sigan las reglas establecidas.

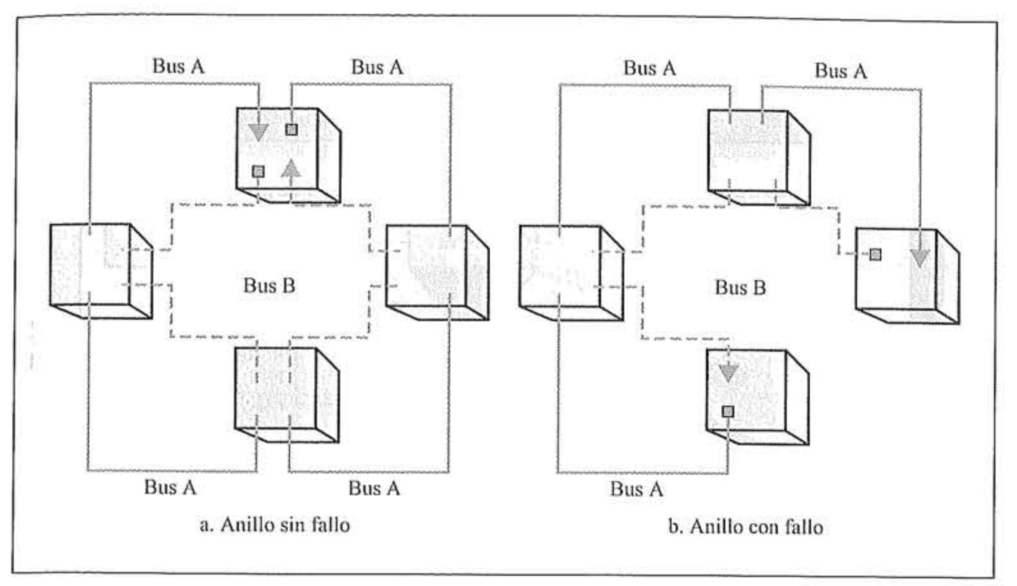


Figura 13.6. *Anillos DQDB.*

Configuración en anillo

DQDB también puede implementarse como un anillo. En este caso, una estación hace de cabecera y de final de la cola (véase la Figura 13.6). Esta topología tiene la ventaja de ser reconfigurable siempre que un enlace o estación falle. La Figura 13.6b muestra el anillo original reconfigurado después del fallo en un enlace.

Funcionamiento: niveles en DQDB

IEEE define el subnivel de control de acceso al medio (MAC) y el nivel físico para el DQDB. Las especificaciones de las funciones del nivel MAC son complejas y se encuentran fuera del ámbito de este libro. En general, sin embargo, el nivel MAC separa el flujo de datos que viene de los niveles superiores en segmentos de 48 bytes y añade una cabecera de 5 bytes a cada segmento para crear ranuras de 53 bytes (véase la Figura 13.7). Este tamaño de ranura la hace compatible con el tamaño de la celda del modo de transferencia asíncrono (ATM), véase el Capítulo 19.

La cabecera del DQDB. Los cinco bytes de la cabecera del DQDB se distribuyen en cinco campos: acceso, dirección, tipo, prioridad y CRC.

Campo de acceso. El campo de acceso consta de ocho bits y controla el acceso al bus. Se subdivide en cinco subcampos:

- **Ocupado (B,** *Busy*). Este bit indica si la ranura está libre o transporta datos. Cuando está activo, significa que la ranura está ocupada.
- **Tipo de ranura (ST,** *Slot Type*). Este bit puede definir dos tipos de ranuras, una para transmisión de paquetes y la otra para transmisión isócrona.
- **Reservado (R,** *Reserved*). Este bit está reservado para su uso futuro.

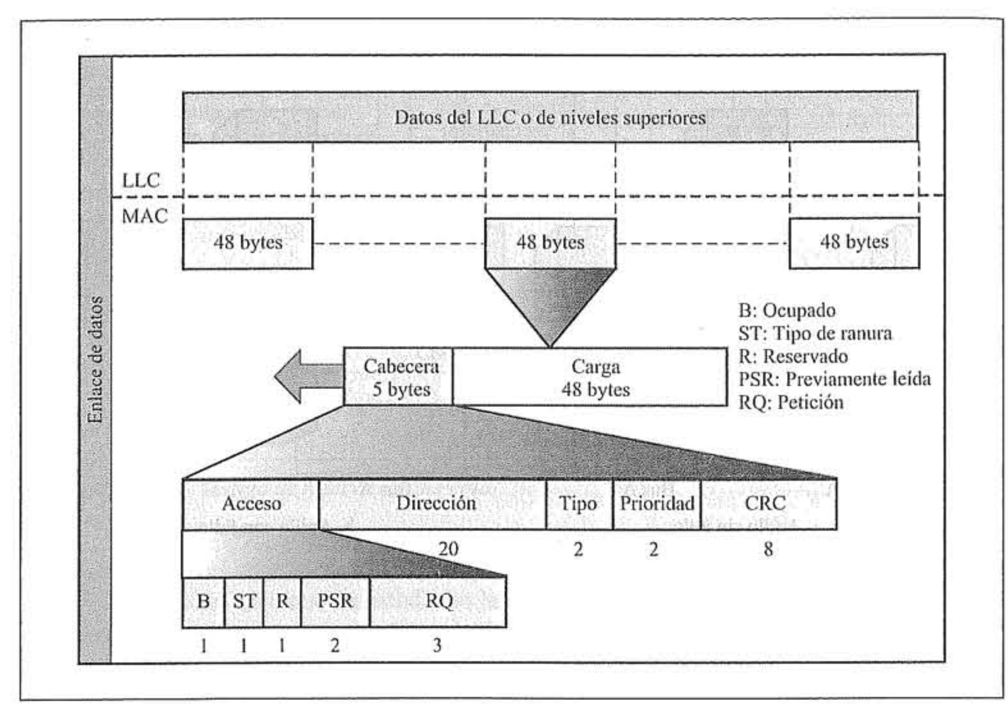


Figura 13.7. *Niveles del DQDB.*

- **Ranura previamente leída (PSR,** *Previous Slot Read*). Este campo de dos bits es puesto a 0 por la estación direccionada, una vez que ha leído el contenido de la ranura.
- **Petición (RQ,** *Request*). Este campo consta de tres bits, que activan las estaciones para reservar ranuras. Los tres bits pueden representar ocho niveles de prioridad en redes con niveles de estaciones diferentes. En redes sin prioridades, se utiliza el primer bit.

Campo de dirección. El campo de dirección almacena un identificador de canal virtual (VCI, *Virtual Channel Identifier*) de 20 bits, para su uso en redes de área metropolitana y redes de área amplia. Cuando se utiliza en una red de área local, este campo contiene todos los bits a 1 y se añade una cabecera adicional para transportar la dirección física del MAC.

Tipo de campo. Este campo de 2 bits identifica la carga como datos de usuarios, datos de gestión y otros.

Campo de prioridad. El campo de prioridad identifica la prioridad de la ranura en una red que utiliza prioridades.

Campo CRC. Este campo transporta un código de redundancia cíclico de 8 bits que emplea $x^8 + x^2 + 1$ como el divisor utilizado para detectar errores en un bit o en ráfagas y corregir errores en un bit de la cabecera.

Implementación

Las especificaciones del nivel físico están abiertas. El estándar DQDB define los dispositivos electrónicos utilizados para acceder al bus dual. El medio de acceso puede ser cable coaxial o fibra óptica con diferentes velocidades.

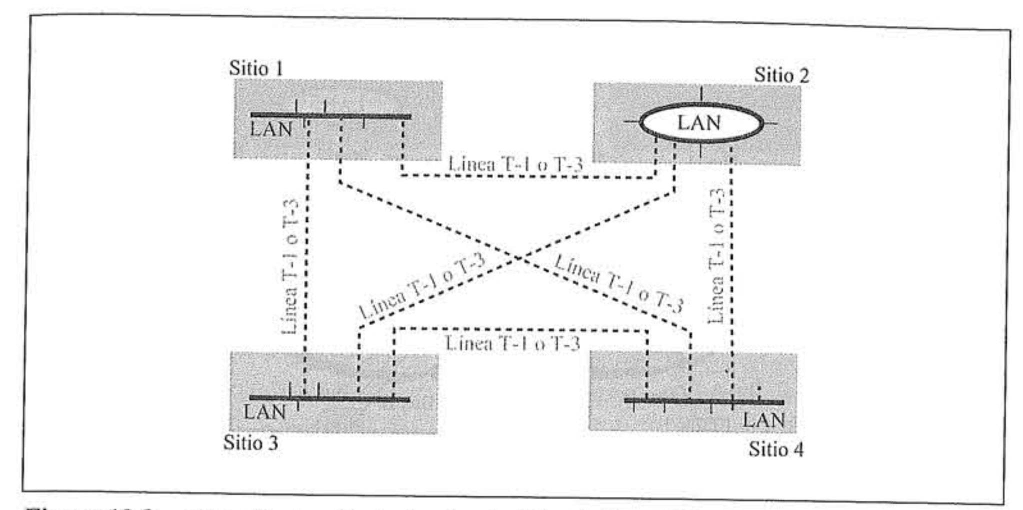


Figura 13.8. *Conexión de redes de área local utilizando líneas T-1 o T-3.*

13.2. SMDS

El **servicio de datos multimegabit conmutado (SMDS)** es un servicio para manejar comunicaciones de alta velocidad en redes de área metropolitana. Fue desarrollado para dar soporte a organizaciones que necesitan intercambiar datos entre redes de área local situadas en diferentes partes de una ciudad o un campus grande. Antes de la introducción de SMDS, estos intercambios de datos normalmente eran difíciles. Una opción era suscribirse al servicio de una compañía telefónica como una línea T-1 alquilada con la velocidad de 1,544 Mbps o a un servicio DS-3 con una línea T-3 alquilada con una velocidad de 44,736 Mbps. Estas soluciones, aunque eran adecuadas, eran caras. Por ejemplo, considere una empresa con cuatro sedes en cuatro lugares diferentes de una ciudad. Para enlazar sus redes de área local en un red de área metropolitana se requiere una malla de seis conexiones punto a punto, $n \times (n-1)/2$. Véase la Figura 13.8.

Por supuesto, el tráfico de datos de la mayoría de las compañías no utiliza una línea el 100 por 100 del tiempo. Las líneas podrían, por tanto, ser más asequibles si se compartiesen. Por desgracia, las compañías telefónicas no ofrecen líneas T-1 conmutadas de alquiler. Un abonado debe alquilar la línea completa.

SMDS ofrece la solución. Es un servicio basado en conmutación de paquetes que emplea datagramas para redes de área metropolitana de alta velocidad. SMDS es un servicio conmutado en el que los abonados sólo pagan por el tiempo que utilizan el servicio. Las redes de área local de los abonados se enlazan a una red SMDS a través de encaminadores que se conectan a conmutadores que utilizan la arquitectura DQDB (véase la Figura 13.9).

Arquitectura del SMDS

El acceso al SMDS está coordinado a través de un **protocolo de interfaz SMDS** (SIP, *SMDS Interface Protocol*). El protocolo SIP define tres niveles, como se muestra en la Figura 13.10.

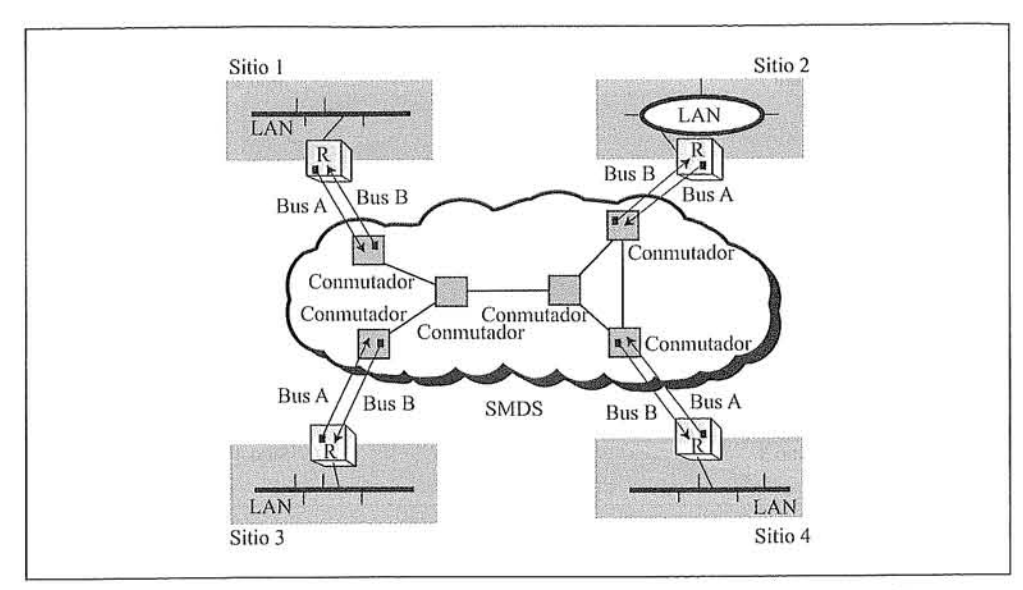


Figura 13.9. *SMDS como una MAN; las LAN de los abonados se enlazan a SMDS mediante encaminadores.*

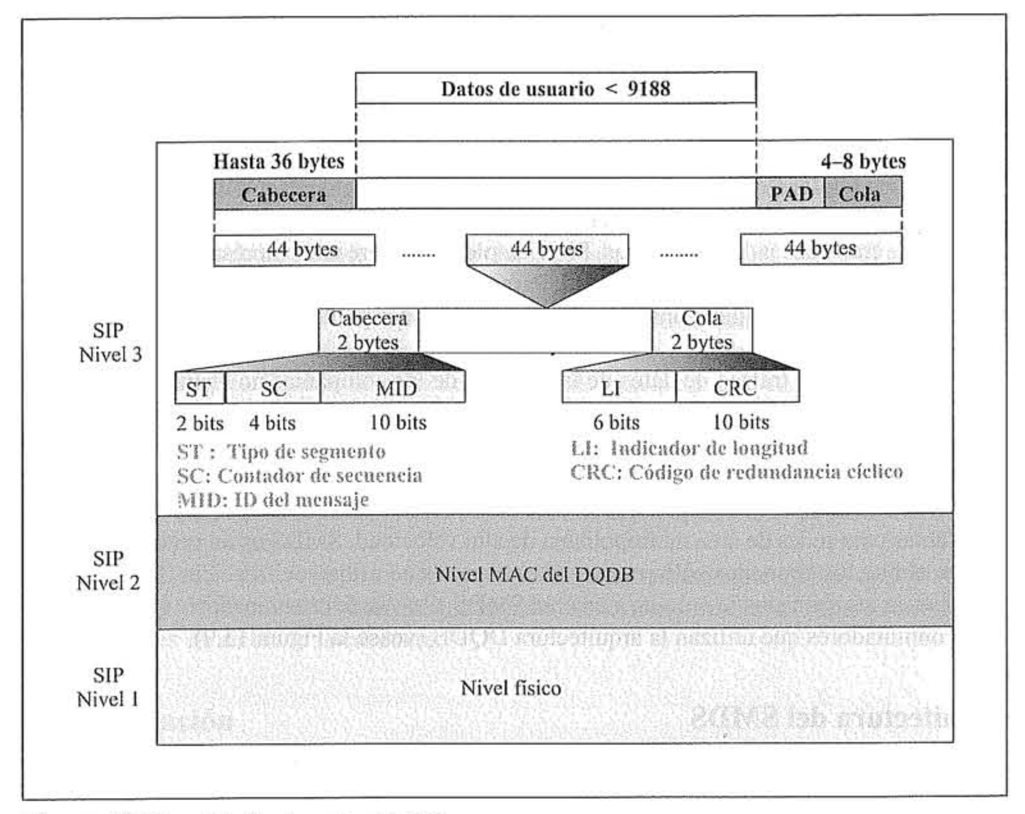


Figura 13.10. *Niveles de protocolo SIP.*

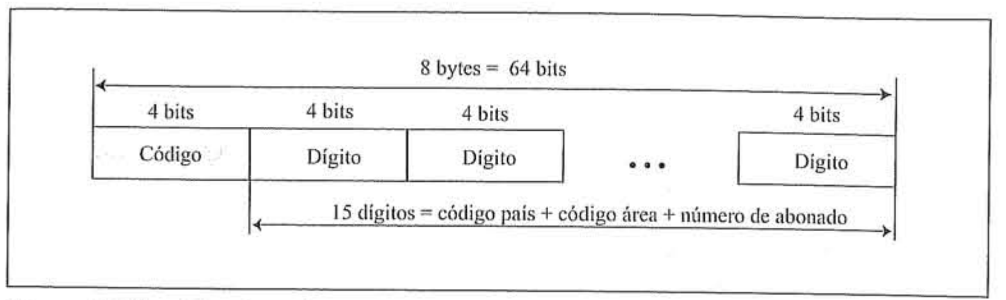


Figura 13.11. *Una dirección en SMDS.*

Nivel 3 del protocolo SIP

Este nivel acepta los datos del usuario, que deberían ser menores de 9.188 bytes, y añade una cabecera y una cola. La cabecera y la cola contienen campos de control y de gestión. Los dos campos más importantes de la cabecera son la dirección de emisor y del receptor. Cada dirección consta de ocho bytes (64 bits). Los primeros cuatro bits definen el tipo de la dirección, que por defecto es un número de teléfono. Los siguientes 60 bits normalmente se interpretan como secciones de 15 bits. Cada estación define un dígito entre 0 y 9. Debido a que 15 dígitos pueden especificar un número de teléfono formado por un código de país, un código de área y un número local, SMDS también puede utilizarse como una WAM. La dirección puede definir un número de teléfono en cualquier país (véase la Figura 13.11).

Una vez añadida la cabecera y la cola, el paquete se divide en secciones de 44 bytes. A cada sección se le añade una cabecera de dos bytes y una cola de dos bytes, tal y como se muestra en la Figura 13.10. Cada sección de 48 bytes pasa al nivel 2 del protocolo SIP para su procesamiento.

Nivel 2 del protocolo SIP

En este nivel entra en juego el DQDB. El nivel 2 recibe secciones de 48 bytes y, como se muestra en la Figura 13.7, añade una cabecera de cinco bytes. Los 53 bytes de salida de este nivel se insertan en una ranura y se transmiten a su destino.

Nivel 1 del protocolo SIP

Este es el nivel físico que define la interfaz física y el tipo de medio de transmisión y sistema de señalización.

Características

A continuación se describen brevemente las características del SMDS:

- SMDS puede verse como una red troncal a la que se conectan varias LAN de la misma organización.
- SMDS se puede utilizar para crear una conexión entre varias LAN que pertenecen a organizaciones diferentes.
- Aunque se utiliza mayoritariamente como una MAN, SMDS también se puede emplear como un WAM.

- SMDS es una red de conmutación de paquetes; la misma red está disponible a todos los usuarios.
- Los abonados sólo pagan cuando utilizan la red.
- Debido a que la carga del usuario puede ser de hasta 9.188 bytes, SMDS puede recibir y encapsular tramas de todas las LAN.
- La tasa de datos puede variar desde 1,544 Mbps hasta 155 Mbps.
- Cada usuario tiene asignada una tasa de datos media.
- La tasa de datos instantánea puede variar siempre que la media esté por debajo de la tasa de datos asignada a un cliente concreto. Esto significa que la transmisión de datos puede ser a ráfagas.
- Debido a que el sistema de direccionamiento es un número de teléfono, no hay necesidad de asignar un nuevo sistema de direccionamiento a cada usuario.
- Es posible la multidifusión; un usuario puede enviar datos que pueden ser recibidos por varios usuarios.

13.3. TÉRMINOS Y CONCEPTOS CLAVE

bus dual
bus dual de cola distribuida (DQDB)
cola
datos a ráfagas
IEEE 802.6
protocolo de interfaz SMDS (protocolo SIP)
ranura
red de área metropolitana (MAN)
servicio de datos multimegabit conmutado

13.4. RESUMEN

- El bus dual de cola distribuida (DQDB) utiliza dos buses unidireccionales. Los buses viajan en direcciones contrarias.
- La transmisión de datos en DQDB tiene lugar a través de la captura de una ranura vacía y la inserción de datos en ella.
- Una estación puede transmitir datos sólo en la dirección con flujo descendente. La reserva de una ranura se realiza en el otro bus.
- Mediante el empleo de colas FIFO (primero en entrar, primero en salir) cada estación tiene la misma posibilidad de enviar sus datos.
- DQDB opera en el nivel físico y en el subnivel MAC.
- DQDB también puede implementarse como una topología en anillo.
- En el subnivel MAC, se añade una cabecera de 5 bytes a una carga de 48 bytes.
- En el nivel físico, los protocolos definen los dispositivos electrónicos, el medio y las velocidades de transmisión.
- El servicio de datos multimegabit conmutado (SMDS) es un servicio basado en conmutación de paquetes que emplea datagramas, utilizado para manejar comunicaciones de alta velocidad en una MAN.
- SMDS es una buena opción para usuarios que
  a. Requieren una velocidad de transmisión mayor que la ofrecida por switched/56 o DDS.
  b. No necesitan un enlace con dedicación exclusiva.
- El acceso a SMDS se coordina a través del protocolo de interfaz SMDS (SIP)
- SMDS utiliza DQDB para acceso al medio.

13.5. MATERIAL PRÁCTICO

Preguntas de revisión

1. ¿Por qué se utilizan los servicios como DQDB y SMDS en redes de área metropolitana?
2. ¿Por qué se necesitan dos buses en DQDB?
3. ¿Cuántas ranuras se generan en DQDB?
4. ¿Por qué es necesaria la reserva de ranuras en DQDB?
5. Describa el método de reserva de ranuras en DQDB.
6. ¿Por qué se necesitan en DQDB dos colas en cada estación?
7. Explique el funcionamiento de las colas FIFO en DQDB.
8. ¿Cuál es la ventaja de implementar DQDB en una configuración en anillo?
9. ¿Por qué se eligió en DQDB un tamaño de ranura de 53 bytes?
10. ¿Cuál es el objetivo del campo de acceso en la cabecera DQDB?
11. Describa el nivel físico de DQDB.
12. ¿Cómo se conecta una LAN a SMDS?
13. ¿Cuál es el objetivo del protocolo de interfaz SMDS (SIP)?
14. Indique los tres niveles del protocolo SIP, así como sus funciones.
15. ¿Por qué la cabecera que se añade en el nivel 3 contiene un número de teléfono?
16. ¿Cómo se relaciona DQDB con SMDS?

Preguntas con respuesta múltiple

17. DQDB es un acrónimo de _______.
    a. base de datos de cola distribuida
    b. bus de datos de cola diferencial
    c. bus de datos de cola de datos
    d. bus dual de cola distribuida
18. Un DQDB está compuesto de _______.
    a. dos buses unidireccionales que viajan en direcciones contrarias
    b. un bus de dos direcciones
    c. dos buses bidireccionales que viajan en direcciones contrarias
    d. un bus unidireccional
19. En un DQDB con bus A y bus B, si una estación origen envía datos a través del bus B, la reserva se realiza en
    a. el bus con la cabecera más cercana
    b. el bus menos ocupado
    c. el bus B
    d. el bus A

20. Se dispone con una cola con seis elementos en el orden A, B, C, D, E y F, siendo A el primer elemento de la cola. Si se eliminan dos elementos y se insertan los elementos G y H, ¿qué elemento se encuentra en el frente de la cola?
    a. C
    b. D
    c. G
    d. H
21. DQDB opera en los niveles _______.
    a. físico
    b. enlace de datos
    c. físico y enlace de datos
    d. de red
22. ¿Qué bit del campo de acceso del DQDB se utiliza para las reservas que realiza una estación?
    a. B
    b. ST
    c. PSR
    d. RQ
23. ¿Qué bit del campo de acceso del DQDB se pone a 0 una vez leído el contenido de la ranura?
    a. B
    b. ST
    c. PSR
    d. RQ
24. ¿Qué campo de la cabecera del DQDB identifica el tipo de carga?
    a. acceso
    b. dirección
    c. tipo
    d. prioridad
25. SMDS es un acrónimo de _______.
    a. servicio de datos multimegabit conmutado
    b. servicio de datos de medios conmutados
    c. servicio de datos multimegabit síncrono
    d. servicio de datos de medios síncronos
26. SMDS es un servicio diseñado para comunicaciones de alta velocidad en _______.
    a. una LAN
    b. una MAN
    c. una WAN
    d. todas las anteriores
27. El protocolo de interfaz SMDS (SIP) especifica el uso de _______ como método de acceso al medio entre el encaminador y SMDS.
    a. CSMA/CA
    b. CSMA/CD
    c. DQDB
    d. DBDQ

Ejercicios

28. Hay 10 estaciones, numeradas de la 1 a la 10, conectadas en un DQDB. La estación 1 genera las ranuras del bus A; la estación 10 genera las ranuras del bus B. Dibuje el sistema, etiquetando las cabeceras, finales, buses, estaciones y direcciones de los buses.
29. En el ejercicio 28, ¿cuántas estaciones son de flujo ascendente en relación a la estación 7? ¿Cuántas estaciones son de flujo descendente en relación a la estación 3?
30. Utilizando la Figura 13.1, asigne los siguientes puntos a las estaciones 1, 2, 3, 4 y 5. Hay más de una asignación.
    a. Genera ranuras vacías.
    b. No necesita la cola A.
    c. No necesita la cola B.
    d. Necesita ambas colas.
31. Explique el funcionamiento del campo de dirección de la cabecera DQDB en una MAN y una LAN.
32. La Figura 13.12 muestra las colas para una estación. ¿Cuántas ranuras vacías en la dirección A deberían pasar antes de que la estación pueda enviar una trama en ese sentido? ¿Cuántas ranuras vacías en la dirección B deberían pasar antes de que la estación pueda enviar una trama en ese sentido?

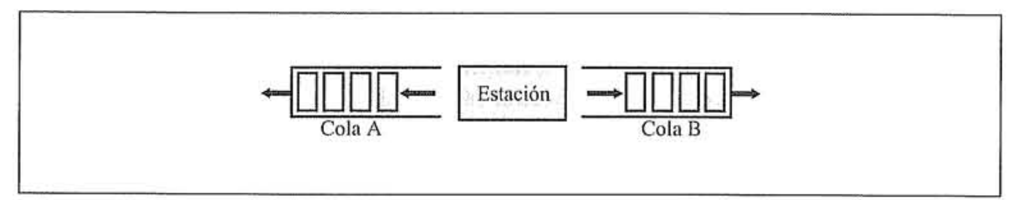


Figura 13.12. *Ejercicio 32.*

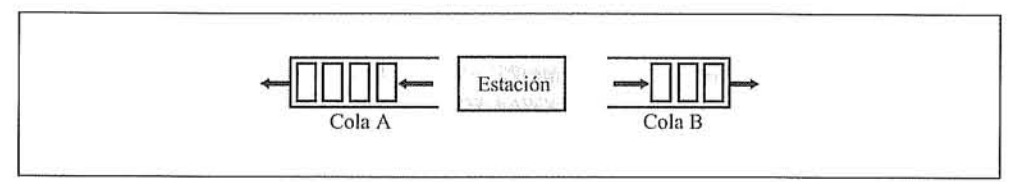


Figura 13.13. *Ejercicio 33.*

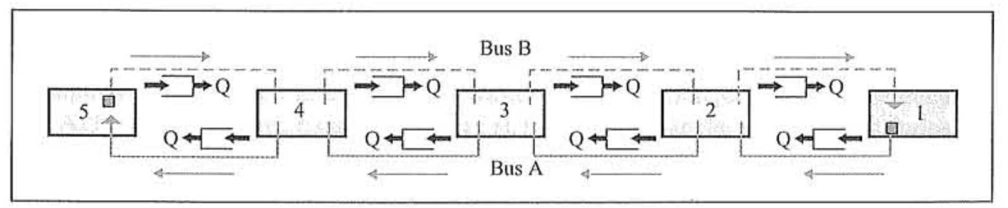


Figura 13.14. *Ejercicio 34.*

33. La Figura 13.13 muestra las colas para una estación. La estación observa los siguientes eventos. Indique el contenido de las colas después de cada evento (los eventos ocurren uno después de otro):
    a. Por el bus A pasan tres ranuras ocupadas con su bit de reserva activo.
    b. Por el bus B pasan dos ranuras vacías.
    c. Por el bus B pasa una ranura vacía con el bit de reserva activado.
    d. Por el bus B pasan dos ranuras ocupadas con el bit de reserva activado.
34. En la Figura 13.14 todas las colas están inicialmente vacías. Muestre el contenido de cada cola después de los siguientes eventos (los eventos ocurren uno después de otro):
    a. La estación 2 realiza una reserva para enviar una trama a la estación 5.
    b. La estación 3 realiza una reserva para enviar una trama a la estación 1.
    c. La estación 2 transmite una trama a la estación 5.
    d. La estación 4 realiza una reserva para enviar una trama a la estación 1.
    e. La estación 4 realiza una reserva para enviar una trama a la estación 5.
    f. La estación 3 transmite una trama a la estación 1.
    g. La estación 1 realiza una reserva para enviar datos a la estación 4.
    h. La estación 4 transmite una trama a la estación 1.
    i. La estación 4 transmite una trama a la estación 5.
    j. La estación 1 transmite una trama a la estación 4.
35. Un usuario envía un paquete de 1000 bytes a una red SMDS. Responda a las siguientes preguntas asumiendo una cabecera de 36 bytes y una cola de 4 bytes.
    a. ¿Hay que añadir relleno en el nivel 3 del protocolo SIP? ¿Cuántos bytes?
    b. ¿Cuántas secciones de 48 bytes se crean en el nivel 3 del protocolo SIP?
    c. ¿Cuántas secciones de 56 bytes se crean en el nivel 2 del protocolo SIP?
36. Utilizando el ejercicio 35, responda a las siguientes preguntas:
    a. ¿Cuántos bytes extra se añaden a los datos de usuario en el nivel 3?
    b. ¿Cuántos bytes extra se añaden a los datos de usuario en el nivel 2?
    c. ¿Cuál es el número total de bytes añadidos a los datos de usuario?
    d. ¿Cuál es el porcentaje de datos extra añadidos a los datos de usuario?
37. Utilizando el ejercicio 35, responda a las siguientes preguntas:
    a. Si la red está enviando los datos de usuario a 45 Mbps, ¿cuánto tarda en enviar todos los datos?
    b. ¿Cuánto se tarda en enviar una ranura?
38. Represente el número de teléfono (408)864-8902 (sin paréntesis ni guión) en binario utilizando cuatro bits para representar un dígito. ¿Cuántos bits se necesitan?
39. ¿Cómo puede utilizar el resultado del Ejercicio 38 en el campo de dirección del nivel 3 del protocolo SIP?

CAPÍTULO 14
Conmutación

Cuando se dispone de varios dispositivos, se tiene el problema de encontrar la forma de conectarlos para que la comunicación uno a uno sea posible. Una solución es instalar una **conexión punto a punto** entre cada par de dispositivos (una topología en malla) o entre un dispositivo central y cada dispositivo (un topología en estrella). Sin embargo, estos métodos, son impracticables cuando se aplican a redes muy grandes. El número y longitud de los enlaces requiere mucha infraestructura para que el coste sea efectivo, y la mayoría de estos enlaces estarían inactivos la mayor parte del tiempo. Imagine una red compuesta por seis dispositivos: A, B, C, D, E y F. Si un dispositivo A tiene enlaces punto a punto con los dispositivos B, C, D, E y F, entonces cuando sólo están conectados A y B, los enlaces que conectan A con el resto de dispositivos no se utilizan y se malgastan.

Otras topologías que emplean conexiones multipunto, como por ejemplo un bus, son excluidas debido a que las distancias entre los dispositivos y el número total de dispositivos se incrementa más allá de las capacidades del medio y de los equipos.

Una solución mejor es la conmutación. Una red conmutada consta de una serie de nodos interconectados, denominados **conmutadores.** Los conmutadores son dispositivos *hardware* y/o *software* capaces de crear conexiones temporales entre dos o más dispositivos conectados al conmutador. En una red conmutada, algunos de estos nodos se conectan a dispositivos de comunicación. El resto se utiliza sólo para realizar el encaminamiento.

La Figura 14.1 muestra una red conmutada. Los dispositivos a comunicar (en este ejemplo, computadoras) se etiquetan como A, B, C, D y así sucesivamente, y los conmutadores se etiquetan como I, II, III, IV y así sucesivamente. Cada conmutador se conecta a varios enlaces y se utiliza para completar las conexiones entre ellos, dos cada vez.

Tradicionalmente, tres han sido los métodos de conmutación más importantes: conmutación de circuitos, conmutación de paquetes y conmutación de mensajes (véase la Figura 14.2). Los dos primeros se utilizan de forma habitual hoy en día. El tercero ya no se utiliza en las comunicaciones generales, pero todavía tiene aplicaciones de red. En la actualidad están ganando importancia nuevas estrategias de red, entre las que se encuentran ATM y Frame Relay. Estas tecnologías se tratarán más adelante, en los Capítulos 18 y 19. El estudio de los viejos métodos proporciona, sin embargo, una buena base para comprender los nuevos. Por ello, en este capítulo se examinarán en primer lugar los métodos más antiguos.

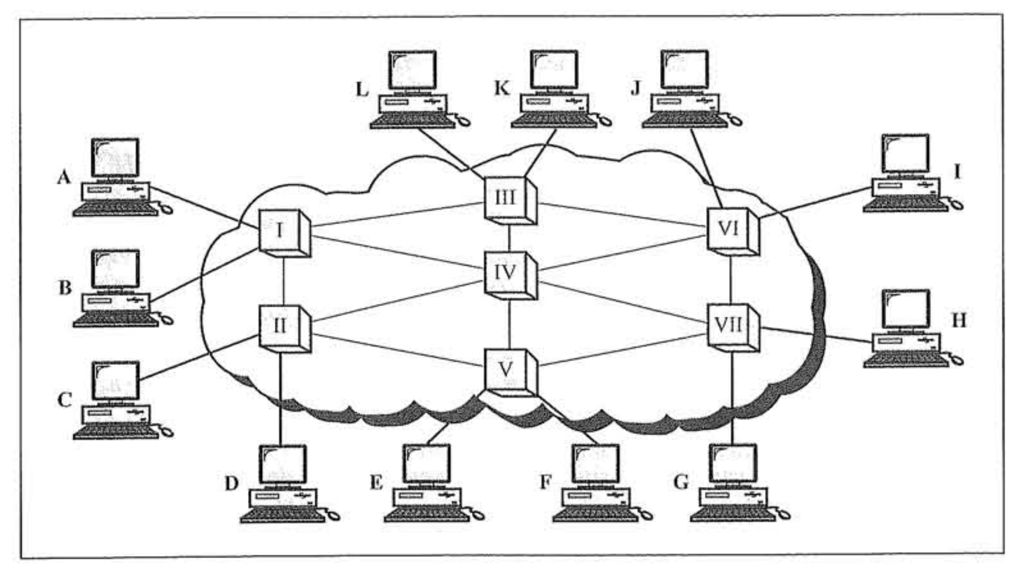


Figura 14.1. *Red conmutada.*

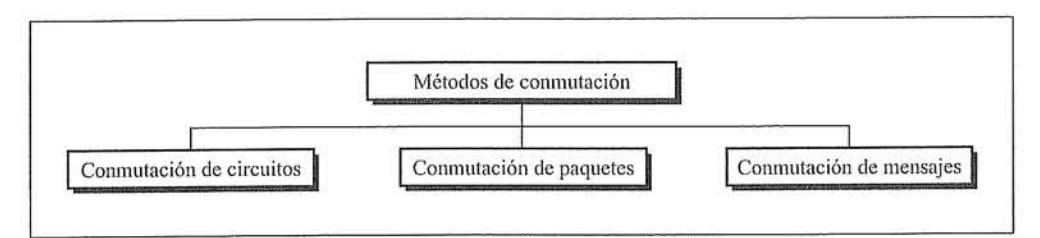


Figura 14.2. *Metodos de conmutación.*

14.1. CONMUTACIÓN DE CIRCUITOS

La **conmutación de circuitos** crea una conexión física directa entre dos dispositivos, tales como teléfonos o computadoras. Por ejemplo, en la Figura 14.3, en lugar de conexiones punto a punto entre las tres computadoras de la izquierda (A, B y C) y las cuatro de la derecha (D, E, F y G), que requieren 12 enlaces, se pueden emplear cuatro conmutadores para reducir el número y la longitud de los enlaces. En la Figura 14.3, la computadora A se encuentra conectada mediante los conmutadores I, II y III a la computadora D. Cambiando las palancas del conmutador, se puede conseguir que cualquier computadora de la izquierda se conecte a cualquiera de las de la derecha.

Un conmutador de circuitos es un dispositivo con n entradas y m salidas que crea una conexión temporal entre un enlace de entrada y un enlace de salida (véase la figura 14.4). El número de entradas no tiene que coincidir con el de salidas.

Un conmutador plegado n-por-n puede conectar n líneas en modo full-duplex. Por ejemplo, puede conectar n teléfonos de forma que cada teléfono puede conectarse con cada uno de los otros teléfonos (véase la Figura 14.5).

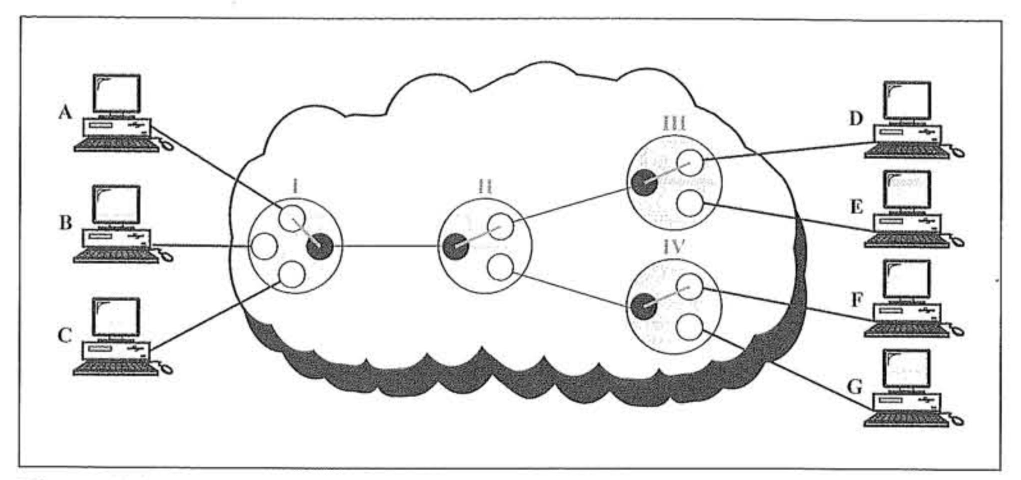


Figura 14.3. *Red de conmutación de circuitos.*

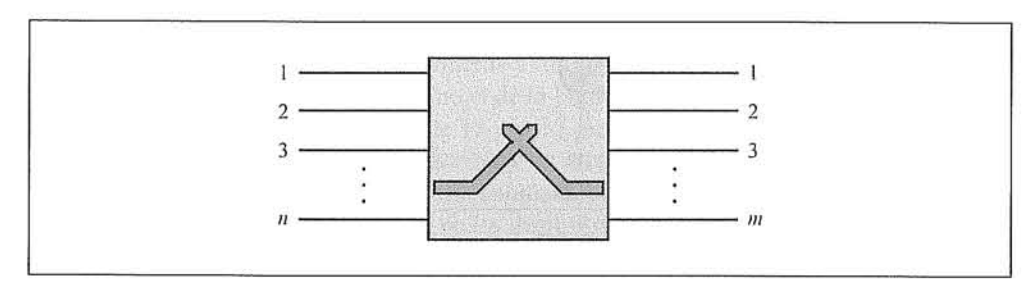


Figura 14.4. *Un conmutador de circuitos.*

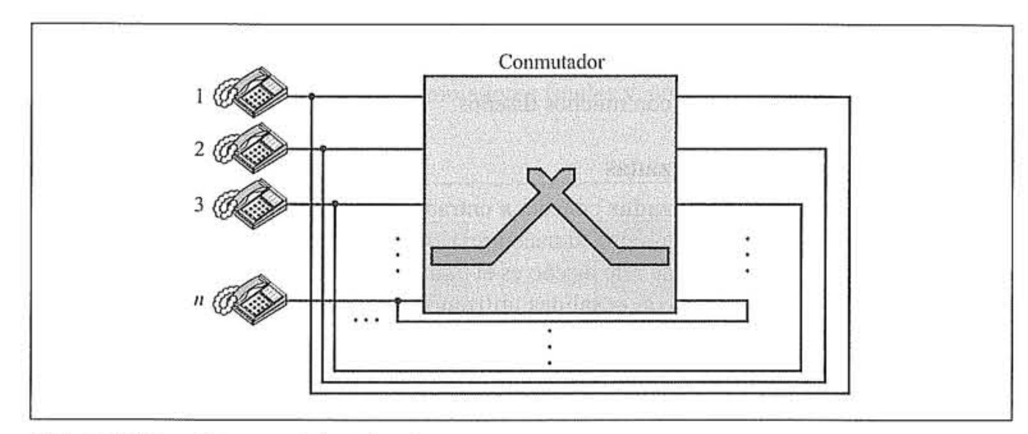


Figura 14.5. *Un conmutador plegado.*

La conmutación de circuitos empleada hoy en día puede utilizar una de las siguientes dos tecnologías: conmutación por división en el espacio o conmutación por división en el tiempo (véase la Figura 14.6).

Conmutación de circuitos

Conmutación por división en el espacio

Conmutación por división en el tiempo

Figura 14.6. *Conmutación de circuitos.*

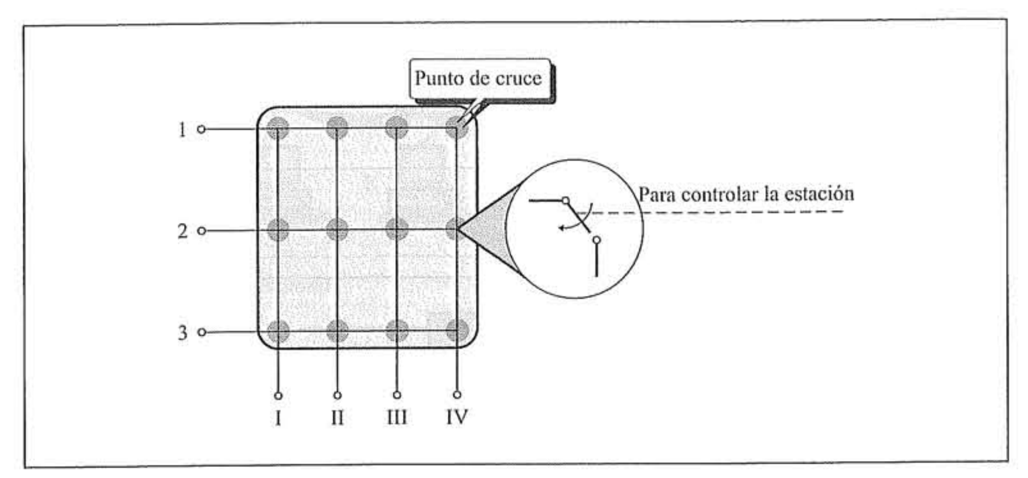


Figura 14.7. *Conmutador de barras cruzadas.*

Conmutadores por división en el espacio

En la **conmutación por división en el espacio,** los caminos en el circuito están separados unos de otros espacialmente. Esta tecnología fue diseñada inicialmente para su uso en redes analógicas pero se usa actualmente tanto en redes digitales como analógicas. Ha evolucionado a través de una larga historia con muchos diseños.

Conmutadores de barras cruzadas

Un **conmutador de barras cruzadas** conecta *n* entradas con *m* salidas en una rejilla, utilizando microconmutadores electrónicos (transistores) en cada punto de cruce (véase la Figura 14.7). La principal limitación de este diseño es el número de puntos de cruce que se requieren. La conexión de *n* entradas con *m* salidas utilizando un conmutador de barras cruzadas requiere $n \times m$ puntos de cruce. Por ejemplo, para conectar 1.000 entradas a 1.000 salidas se requiere un conmutador de barras cruzadas con 1.000.000 de cruces. Esto hace que este tipo de conmutadores sea impracticable debido a su enorme tamaño. Además, este tipo de conmutadores es ineficiente debido a que las estadísticas muestran que en la práctica menos del 25 % de los cruces se están utilizando en un momento determinado. El resto no se utilizan.

Conmutadores multietapa

La solución a las limitaciones del conmutador de barras cruzadas es utilizar conmutadores multietapa, que combinan conmutadores de barras cruzadas en varias etapas. En la conmutación multietapa, los dispositivos se conectan a los conmutadores que, a su vez, se conectan a una jerarquía de otros conmutadores (véase la Figura 14.8).

Etapa 1 Etapa 2 Etapa 3

Figura 14.8. *Conmutador multietapa.*

El diseño de un conmutador multietapa depende del número de etapas y del número de conmutadores necesarios (o deseados) en cada etapa. Normalmente, las etapas centrales tienen menos conmutadores que las primeras y últimas etapas. Por ejemplo, imagine que se quiere un conmutador multietapa como el de la Figura 14.8 para hacer el trabajo de un único conmutador de barras cruzadas de 15 por 15. Asuma que se ha decidido un diseño en tres etapas que utiliza tres conmutadores en las etapas inicial y final y dos conmutadores en la etapa central. Debido a que hay tres conmutadores en la etapa inicial, cada uno de ellos recibe las entradas de la tercera parte de los dispositivos de entrada, con cinco entradas cada uno ($5 \times 3 = 15$).

A continuación, cada uno de los conmutadores de la etapa inicial debe tener una salida que se conecte a cada uno de los conmutadores de la etapa central. Hay dos conmutadores centrales; por tanto, cada conmutador de la primera etapa tiene dos salidas. Cada uno de los conmutadores de la etapa final debe tener entradas de cada uno de los conmutadores intermedios; dos conmutadores intermedios dan lugar a dos entradas. Los conmutadores intermedios deben conectarse a los tres conmutadores finales y, por lo tanto, deben tener tres entradas y tres salidas cada uno de ellos.

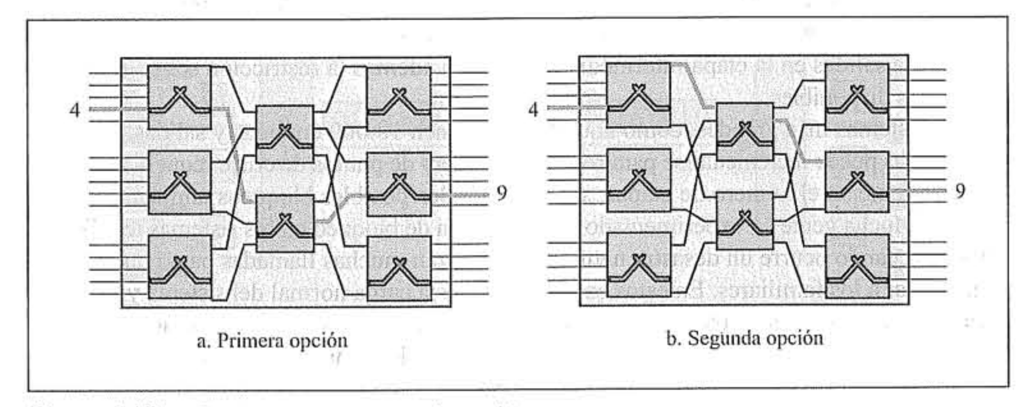


Figura 14.9. *Caminos en un conmutador multietapa.*

Caminos múltiples. Los conmutadores multietapa proporcionan varias opciones para conectar cada par de dispositivos. La Figura 14.9 muestra dos modos en el que el tráfico puede circular de una entrada a una salida utilizando el conmutador diseñado en el ejemplo anterior.

En la Figura 14.9a, se establece un camino entre la línea de entrada 4 y la línea de salida 9. En este caso, el camino utiliza el conmutador intermedio inferior y la línea central de éste alcanza al conmutador de la última etapa conectado a la línea 9.

La Figura 14.9b muestra un camino entre la misma línea de entrada 4 y la misma línea de salida 9 utilizando el conmutador intermedio superior.

A continuación, se van a comparar el número de cruces en un conmutador de una etapa de barras cruzadas de 15 por 15 con el conmutador multietapa 15 por 15 que se ha descrito anteriormente. En un conmutador de una etapa se necesitan 225 puntos de cruce (15 × 15). En un conmutador multietapa se necesitan:

- Tres conmutadores en la primera etapa, cada uno con 10 puntos de cruce (5 × 2), con un total de 30 puntos de cruce en la primera etapa.
- Dos conmutadores en la segunda etapa, cada uno con 9 puntos de cruce (3 × 3), con un total de 18 puntos de cruce en la segunda etapa.
- Tres conmutadores en la tercera etapa, cada uno con 10 puntos de cruce (5 × 2), con un total de 30 puntos de cruce en la última etapa.

El número total de puntos de cruce requeridos en nuestro conmutador multietapa es 78. En este ejemplo, el conmutador multietapa sólo requiere un 35 % de lo puntos de cruce que requiere el conmutador de una etapa.

Bloqueo. Este ahorro viene asociado, sin embargo, con un coste. La reducción en el número de puntos de cruce da lugar a un fenómeno denominado **bloqueo** durante periodos de mucho tráfico. El bloqueo aparece cuando una entrada no se puede conectar a la salida debido a que no existe un camino disponible entre ellas; todos los conmutadores intermedios se encuentran ocupados.

En un conmutador de una sola etapa, el bloqueo no ocurre. Debido a que cada combinación de entrada y salida tiene su propio punto de cruce, siempre existe un camino disponible. (No se tienen en cuentan los casos en los que dos entradas intenten conectarse a la misma salida. En este caso el camino no está bloqueado, la salida simplemente está ocupada.) En el conmutador multietapa descrito en el ejemplo anterior, sin embargo, sólo dos de las cinco primeras etapas pueden utilizar el conmutador al mismo tiempo, sólo dos de las segundas cinco entradas pueden utilizar el conmutador al mismo tiempo, y así sucesivamente. El pequeño número de salidas en la etapa intermedia incrementa además la restricción sobre el número de enlaces disponibles.

En sistemas más grandes, como aquellos que tienen 10.000 entradas y salidas, el número de etapas puede incrementarse para reducir el número de puntos de cruce requeridos. Cuando se incrementa el número de etapas, sin embargo, los posibles bloqueos también se incrementan. Mucha gente ha experimentado esta situación de bloqueo en los sistemas telefónicos públicos cuando ocurre un desastre natural y se realizan muchas llamadas para comprobar o tranquilizar a los familiares. En estos casos se excede la carga normal del sistema y la comunicación puede ser imposible. Bajo circunstancias normales, sin embargo, el bloqueo por lo general no es un problema. En países que pueden afrontarlo, el número de conmutadores entre líneas se calcula de forma que el bloqueo sea improbable. La fórmula para encontrar este número se basa en análisis estadístico, el cual se encuentra fuera del ámbito de este libro.

Conmutadores por división en el tiempo

La **conmutación por división en el tiempo** utiliza multiplexación por división en el tiempo para conseguir la conmutación. Hay dos métodos populares utilizados en la multiplexación por división en el tiempo: el intercambio de ranuras temporales y conmutación mediante bus TDM.

Intercambio de ranuras temporales (TSI, Time-Slot Interchange)

La Figura 14.10 muestra un sistema que conecta cuatro líneas de entrada a cuatro líneas de salida. Imagine que cada línea de entrada quiere enviar datos a una línea de salida de acuerdo al siguiente patrón:

1 ⇨ 3   2 ⇨ 4   3 ⇨ 1   4 ⇨ 2

La Figura 14.10a muestra los resultados de la multiplexación por división en el tiempo normal. Como puede observar, la tarea deseada no puede llevarse a cabo. Los datos aparecen en la salida en el mismo orden en el que fueron introducidos. Los datos se encaminan de 1 a 1, de 2 a 2, de 3 a 3 y de 4 a 4.

En la Figura 14.10b, sin embargo, se inserta un dispositivo en el enlace denominado **intercambio de ranuras temporales (TSI).** Un TSI cambia el orden de las ranuras temporales según las conexiones deseadas. En este caso, se cambia el orden de los datos de A, B, C y D a C, D, A, B. Ahora, cuando el demultiplexor separa las ranuras, las pasa a las salidas apropiadas.

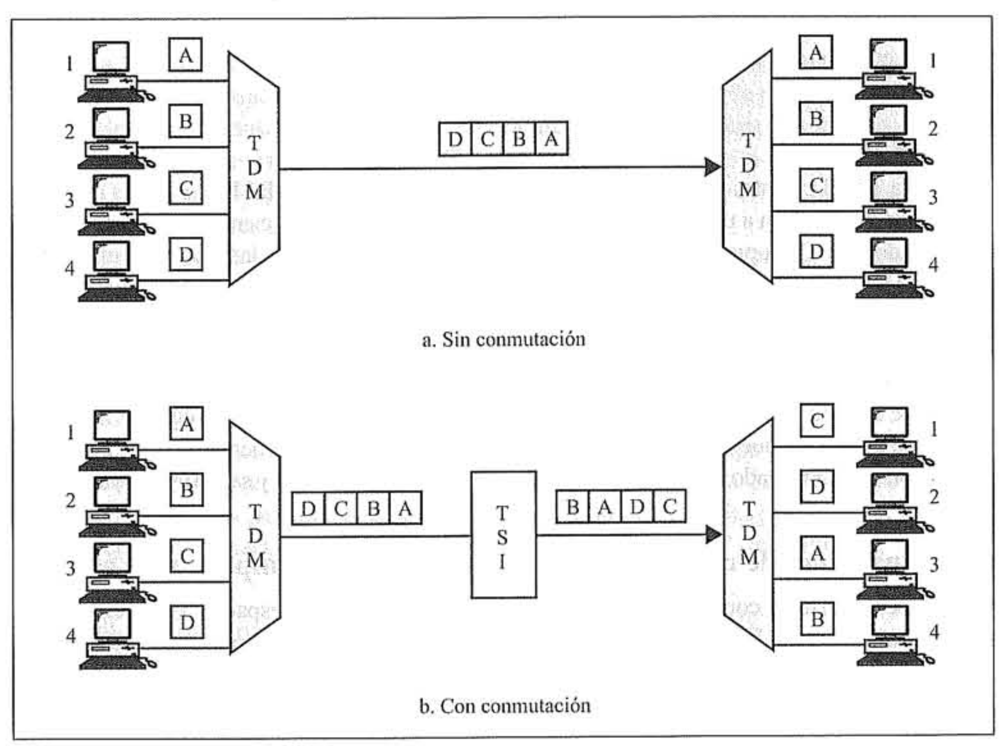


Figura 14.10. *Multiplexación por división en el tiempo, con y sin intercambio de ranuras temporales (TSI).*

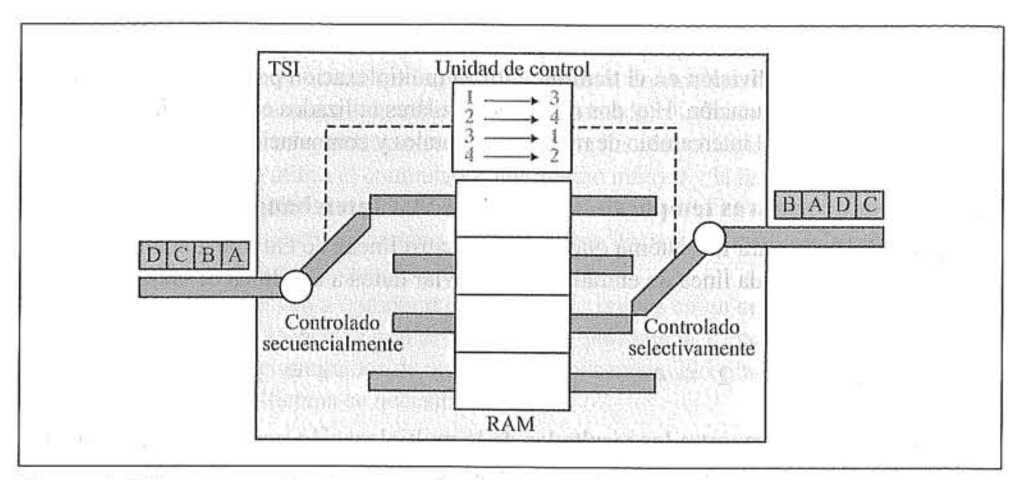


Figura 14.11. *Intercambio de ranuras temporales.*

En la Figura 14.11 se muestra el funcionamiento de un TSI. Un TSI consta de una memoria de acceso aleatorio (RAM) con varias posiciones de memoria. El tamaño de cada posición es igual al tamaño de una ranura de tiempo. El número de posiciones es igual al número de entradas (en la mayoría de los casos, el número de entradas y salidas es igual). La RAM se llena con los datos que llegan en las ranuras temporales en el orden recibido. Las ranuras son enviadas en un orden basado en las decisiones de una unidad de control.

Bus TDM

La Figura 14.12 muestra una versión muy simplificada de un **bus TDM.** Las líneas de entrada y salida se conectan a un bus de alta velocidad a través de puertas de entrada y salida (microconmutadores). Cada puerta de entrada está cerrada durante una de las cuatro ranuras temporales. Durante la misma ranura, sólo una puerta de salida está también cerrada. Este par de puertas permite que una ráfaga de datos sea transferida entre una determinada línea de entrada y de salida utilizando el bus. La unidad de control abre y cierra las puertas de acuerdo a las necesidades de conmutación. Por ejemplo, en la figura anterior, en la primera ranura de tiempo se cerrará la puerta de entrada 1 y la puerta de salida 3; durante la segunda ranura de tiempo se cerrará la puerta de entrada 2 y de salida 4; y así sucesivamente.

Un bus TDM plegado se puede construir con líneas dúplex (entrada y salida) y puertas duales.

Combinaciones de conmutación por división en el tiempo y en el espacio

Cuando se compara la conmutación por división en el tiempo y en el espacio, aparecen algunos aspectos interesantes. La ventaja de la conmutación por división en el espacio se encuentra en que es instantánea. Su desventaja se encuentra en el número de puntos de cruce necesarios para que la conmutación por división en el espacio sea aceptable en términos de bloqueo.

La ventaja de la conmutación por división en el tiempo se encuentra en que no necesita puntos de cruce. Su desventaja, en el caso de TSI, es que el procesamiento de cada conexión crea retardos. Cada ranura debe almacenarse en la RAM y luego ser recuperada para transmitirla.

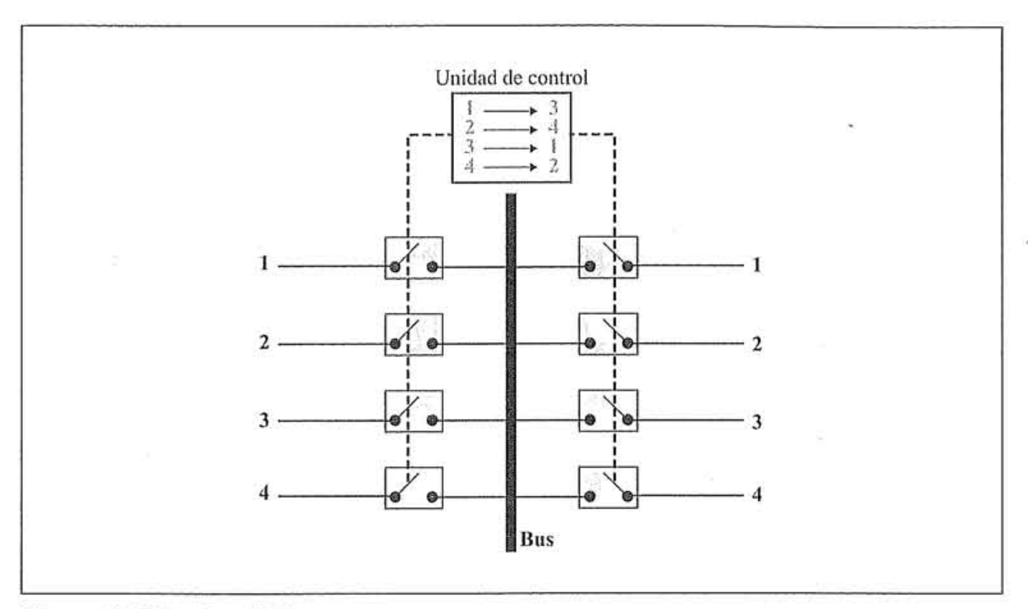


Figura 14.12. *Bus TDM.*

En una tercera opción, se pueden combinar ambos tipos de conmutación para combinar las ventajas de ambas. La combinación de los dos tipos de conmutación da lugar a conmutadores que se encuentran optimizados tanto físicamente (el número de puntos de cruce) como temporalmente (la cantidad de retardo). Los conmutadores multietapa de este tipo se pueden diseñar como tiempo-espacio-tiempo (TST, *time-space-time*), tiempo-espacio-espacio-tiempo (TSST, *time-space-space-time*), espacio-tiempo-tiempo-espacio (STTS, *space-time-time-space*) u otras posibles combinaciones.

La Figura 14.13 muestra un sencillo conmutador TSI que consta de dos etapas temporales y una etapa espacial, y tiene 12 entradas y 12 salidas. En lugar de un conmutador por división en el tiempo, se dividen las entradas en tres grupos (de cuatro entradas cada uno) y las encamina a tres conmutadores TSI. El resultado en este caso es que el retardo medio es una tercera parte del que existiría en un conmutador TSI que manejase las 12 entradas.

La última etapa es una imagen especular de la primera. La etapa intermedia es un conmutador por división en el espacio (de barras cruzadas) que conecta los grupos de conmutadores TSI juntos para permitir la conectividad entre todos los posibles pares de entrada y salida (por ejemplo, conecta la entrada 3 del primer grupo a la salida 7 del segundo).

Red telefónica conmutada

Un ejemplo de red telefónica por conmutación de circuitos es la red telefónica conmutada (PSTN, *Public Switched Telephone Network*) de Norteamérica. Los centros de conmutación se encuentran organizados en cinco clases: *centrales regionales* (clase 1), *centrales de sección* (clase 2), *centrales primarias* (clase 3), *centrales de peaje* (clase 4) y *centrales finales* (clase 5). La Figura 14.14 muestra la relación jerárquica entre estas centrales.

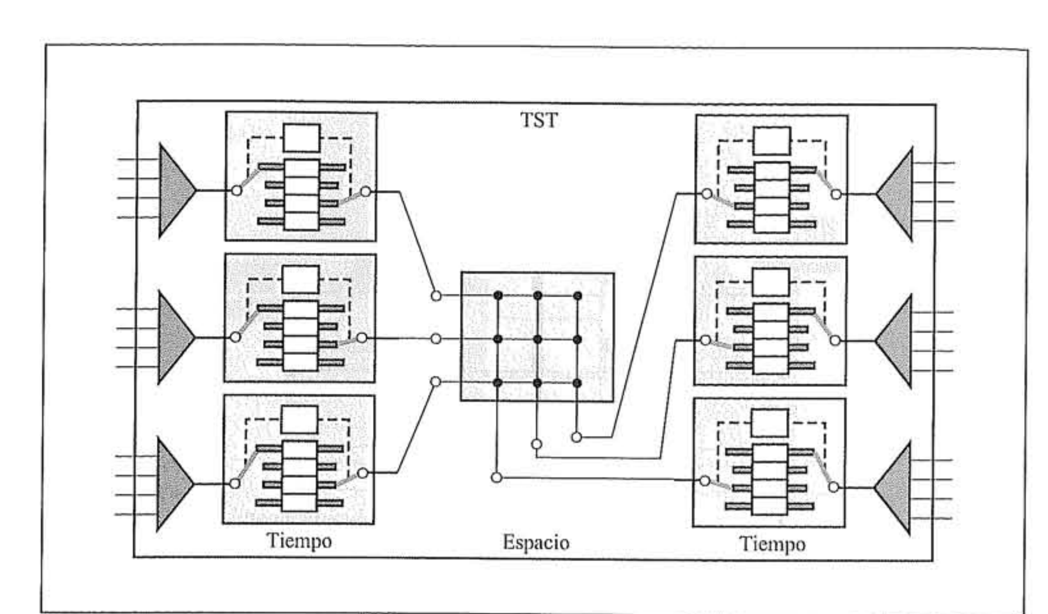


Figura 14.13. *Conmutador TSI.*

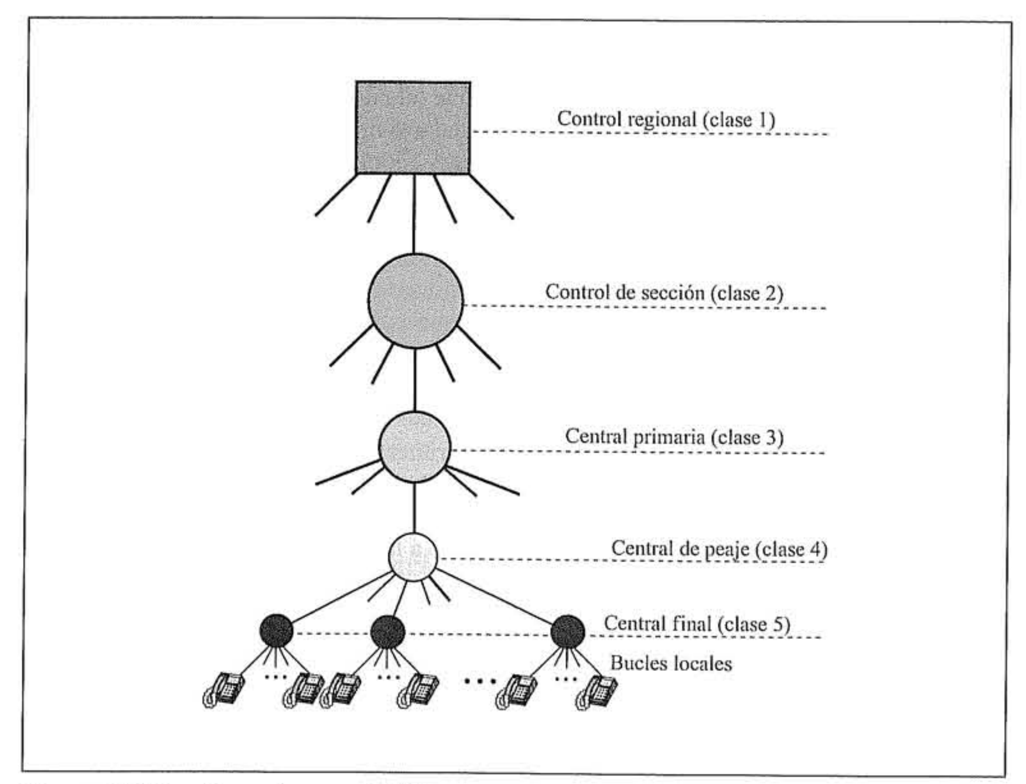


Figura 14.14. *Jerarquía en una PSTN.*

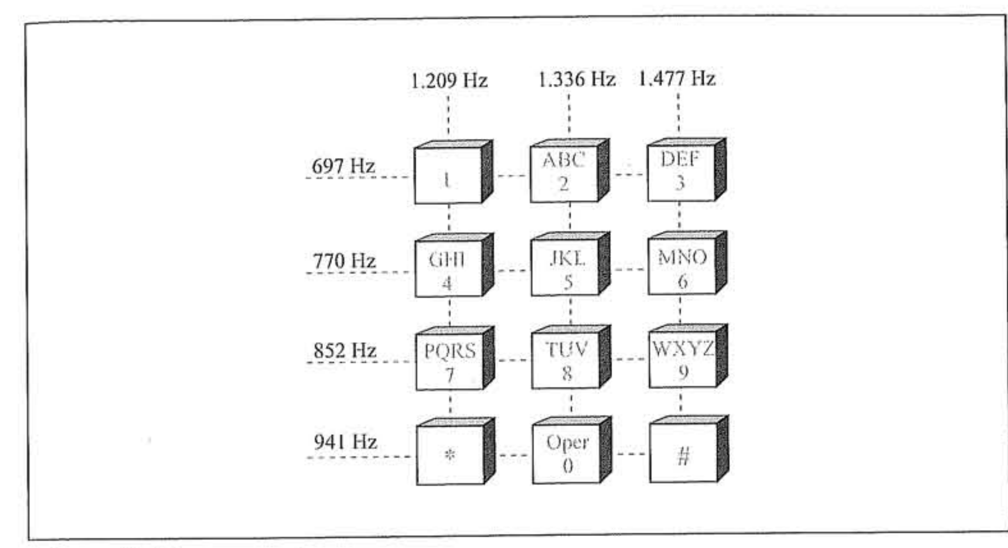


Figura 14.15. *Marcación por tonos.*

Los abonados telefónicos se conectan, a través de **bucles locales,** a las centrales finales. Un pequeño pueblo puede tener sólo una central final, pero una ciudad grande tendrá varias centrales finales. Varias centrales finales se conectan a una central de peaje. Varias de éstas centrales se conectan a una central primaria. Varias centrales primarias se conectan a una central de sección, que normalmente sirve a más de un estado. Y finalmente varias centrales de sección se conectan a una central regional. Todas las centrales regionales se conectan utilizando una topología en malla.

El acceso a la estación de conmutación de las centrales finales se lleva a cabo mediante marcación. En el pasado, la marcación en los teléfonos se realizaba mediante pulsos o dispositivos rotatorios, en los que se enviaba una señal digital a la central final por cada número marcado. Este tipo de marcación estaba propenso a errores debido a la inconsistencia de las personas durante el proceso de marcación.

Hoy en día, la marcación se realiza mediante la técnica de marcación por tonos. En este método, en lugar de enviar una señal digital, el usuario envía dos pequeñas ráfagas de señales analógicas, denominados *tonos duales*. La frecuencia de las señales enviadas depende de la fila y la columna de la tecla pulsada.

La Figura 14.15 muestra un sistema de marcación de tonos de 12 teclas. Hay que hacer notar que hay también una variante con una columna extra, que se utiliza para propósitos especiales.

En la Figura 14.15, cuando un usuario marca, por ejemplo, el número 8, se envían dos ráfagas de señales analógicas con frecuencias de 852 y 1.336 Hz.

14.2. CONMUTACIÓN DE PAQUETES

La conmutación de circuitos se diseñó para la comunicación de voz. En una conversación telefónica, por ejemplo, una vez establecido el circuito, permanece conectado durante toda la conversación. La conmutación de circuitos crea enlaces temporales (mediante marcación) o permanentes (alquilados) que son muy adecuados para este tipo de comunicación.

La conmutación de circuitos es menos adecuada para datos y transmisiones sin voz. Las transmisiones sin voz tienden a realizarse en ráfagas, lo que significa que los datos se envían con intervalos de tiempo de separación entre ellos. Cuando se utiliza un enlace de conmutación de circuitos para transmisión de datos, por tanto, la línea permanece durante esos intervalos inactiva, gastando recursos.

Una segunda debilidad de la conmutación de circuitos para la transmisión de datos se encuentra en su velocidad de transmisión. Un enlace de conmutación de circuitos crea el equivalente a un único cable entre dos dispositivos y, por tanto, asume una tasa fija de datos para ambos dispositivos. Esto limita la flexibilidad y utilidad de la conmutación de circuitos para redes que interconectan una gran variedad de dispositivos digitales.

En tercer lugar, la conmutación de circuitos es inflexible. Una vez establecido un circuito, este es el camino utilizado en la transmisión, sea o no el más eficiente o disponible.

Finalmente, la conmutación de circuitos trata a todas las transmisiones por igual. Cualquier petición es aceptada siempre que haya un enlace disponible. Pero con frecuencia en las transmisiones de datos se quiere la posibilidad de priorizar: por ejemplo, que la transmisión x puede llevarse a cabo en cualquier momento, pero la transmisión z que es dependiente del tiempo se efectúe inmediatamente.

Una mejor solución para la transmisión de datos es la **conmutación de paquetes.** En una **red de conmutación de paquetes,** los datos son transmitidos en unidades discretas formadas por bloques de longitud potencialmente variable denominados **paquetes.** La red establece la longitud máxima del paquete. Las transmisiones grandes se dividen en paquetes. Cada paquete contiene no sólo datos, sino también una cabecera con información de control (como códigos de prioridad y las direcciones del origen y del destino). Los paquetes son enviados por la red de un nodo a otro. En cada nodo, el paquete es almacenado brevemente y encaminado de acuerdo a la información presente en su cabecera.

Hay dos enfoques tradicionales de la conmutación de paquetes: datagramas y circuitos virtuales (véase la Figura 14.16).

Enfoque basado en datagramas

En la **conmutación de paquetes basada en datagramas,** cada paquete es tratado de forma independiente de los otros. Incluso cuando el paquete representa únicamente un trozo de una transmisión de varios paquetes, la red (y las funciones del nivel de red) trata al paquete como si sólo existiera él. En esta tecnología a los paquetes se les denomina **datagramas.**

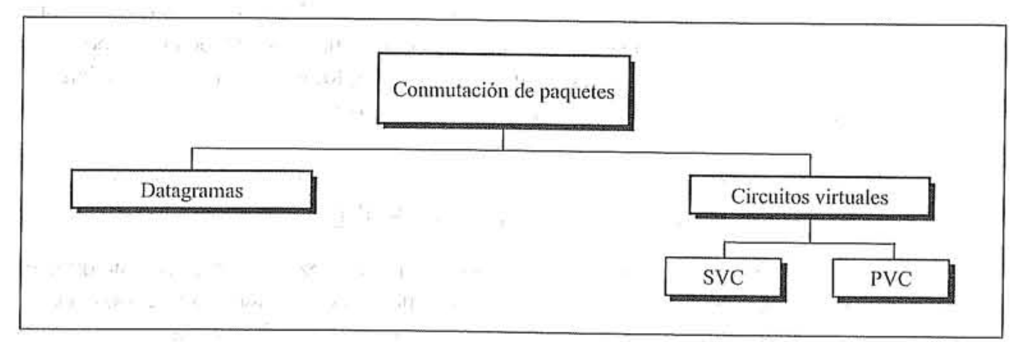


Figura 14.16. *Enfoques de la conmutación de paquetes.*

La Figura 14.17 muestra cómo se puede utilizar el enfoque basado en datagramas para entregar cuatro paquetes de la estación A a la estación X. En este ejemplo, los cuatro paquetes (o datagramas) pertenecen al mismo mensaje pero pueden viajar por caminos diferentes para alcanzar su destino.

Este enfoque puede hacer que los datagramas de una transmisión lleguen a su destino desordenados. El nivel de transporte tiene la responsabilidad, en la mayoría de los protocolos, de reordenar los datagramas antes de pasarlos al puerto de destino.

El enlace que comunica cada par de nodos puede contener varios canales. Cada uno de estos canales es capaz, a su vez, de transmitir datagramas de varios orígenes diferentes o del mismo origen. La multiplexación se puede realizar utilizando TDM o FDM (véase la Figura 14.18).

En la Figura 14.18, los dispositivos A y B están enviando datagramas a los dispositivos X e Y. Algunos caminos utilizan un canal mientras que otros utilizan más de uno. Como se puede observar, el enlace situado en la parte inferior está transmitiendo dos paquetes de orígenes diferentes en el mismo sentido. El enlace de la derecha, sin embargo, transmite datagramas en los dos sentidos.

Enfoque basado en circuitos virtuales

En la **conmutación de paquetes basada en circuitos virtuales,** se mantiene la relación que existe entre todos los paquetes que pertenecen a un mismo mensaje o sesión. Se elige al comienzo de la sesión una única ruta entre el emisor y el receptor. Cuando se envían datos, todos los paquetes de la transmisión viajan uno después de otro por la misma ruta.

Hoy en día, la transmisión utilizando circuitos virtuales se implementa de dos formas: circuitos virtuales conmutados (SVC, *Switched Virtual Circuit*) y circuitos virtuales permanentes (PVC, *Permanent Virtual Circuit*).

SVC

Un **circuito virtual conmutado** (SVC) es comparable conceptualmente a las líneas de marcación en la conmutación de circuitos. En este método se crea un **circuito virtual** cuando se

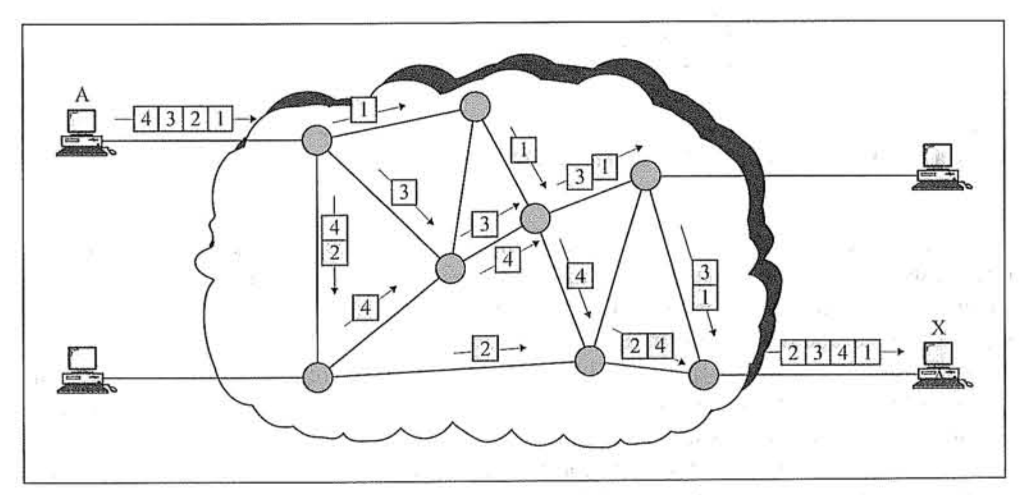


Figura 14.17. *Enfoque basado en datagramas.*

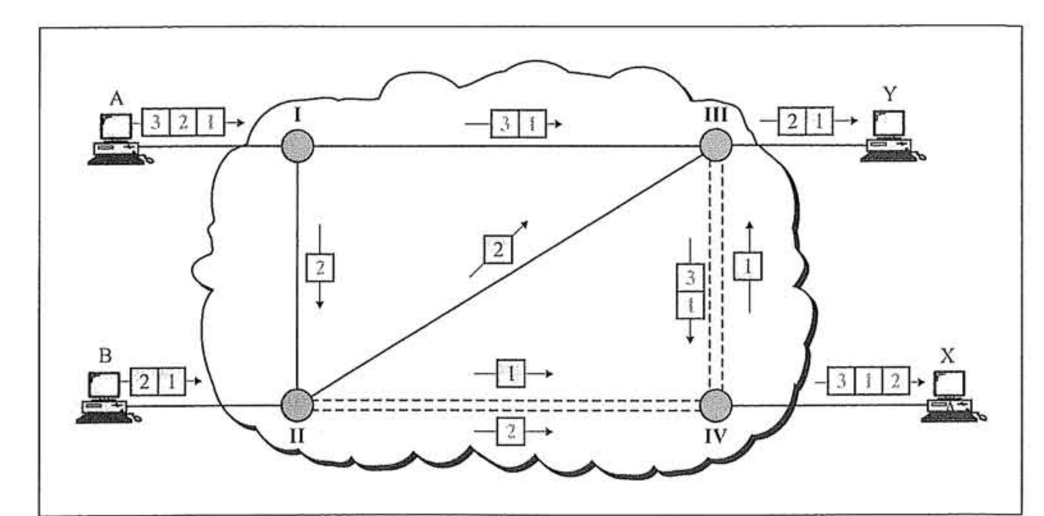


Figura 14.18. *Varios canales en el enfoque basado en datagramas.*

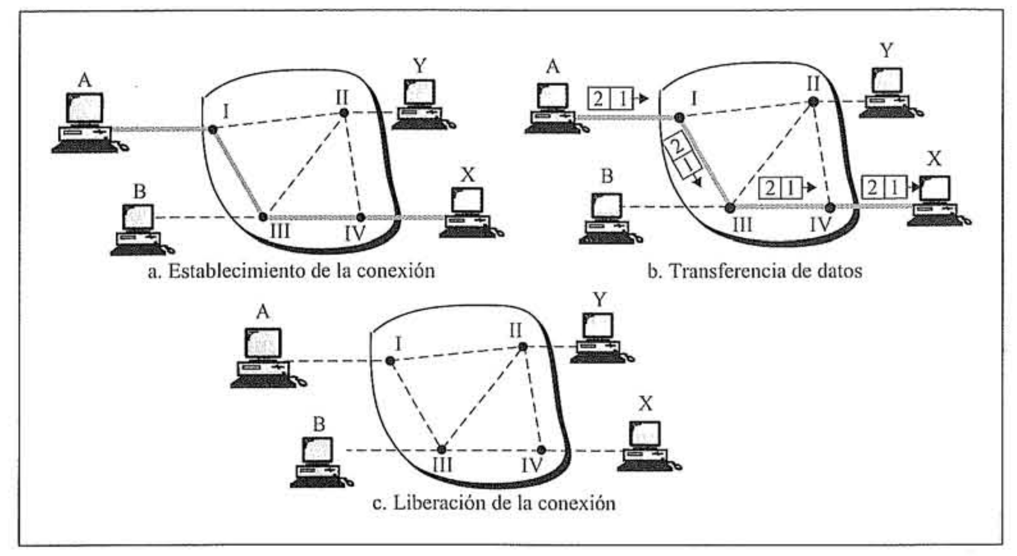


Figura 14.19. *Circuito virtual conmutado (SVC).*

necesita y existe sólo durante la duración del intercambio específico. Por ejemplo, imagine que la estación A quiere enviar cuatro paquetes a la estación X. En primer lugar, A solicita el establecimiento de una conexión con X. Una vez establecida la conexión, los paquetes son enviados uno después de otro y en orden secuencial. Cuando el último paquete ha sido recibido y, si es necesario, confirmado, se libera la conexión y el circuito virtual deja de existir (véase la Figura 14.19). Sólo existe una ruta durante la duración de la transmisión, aunque la red pudiera elegir una ruta distinta en respuesta a un fallo o congestión.

Cada vez que A desea comunicarse con X, se debe establecer una nueva ruta. La ruta puede ser la misma cada vez o puede ser diferente según las condiciones de la red.

PVC

Los **circuitos virtuales permanentes** (PVC) son comparables a las líneas dedicadas en la conmutación de circuitos. En este método, se establece de forma continua un mismo circuito virtual entre dos usuarios. El circuito está dedicado a los usuarios especificados. Nadie más puede utilizarlo y, debido a que siempre está disponible, se puede usar sin necesidad de establecer ni liberar las conexiones. Mientras que dos usuarios en SVC pueden obtener rutas diferentes cada vez que solicitan una conexión, dos usuarios en PVC siempre obtienen la misma ruta (véase la Figura 14.20).

Conexión de circuitos virtuales frente a conexión de circuitos conmutados

Aunque parecen la misma, la conexión de circuitos virtuales y la conexión de circuitos conmutados presentan algunas diferencias:

- **Ruta frente a camino.** Una conexión de circuitos conmutados crea un **camino** entre dos puntos. El camino físico se crea fijando los conmutadores durante el proceso de marcación (línea de marcación) o durante el alquiler (línea alquilada). Una conexión de circuito virtual crea una **ruta** entre dos puntos. Esto significa que cada conmutador crea una entrada en su tabla de encaminamiento (véase el Capítulo 21) durante la duración de la sesión (SVC) o durante el alquiler (PVC). Cuando el conmutador recibe un paquete que pertenece a una conexión virtual, busca en la tabla la entrada correspondiente y encamina el paquete hacia una de sus interfaces. La Figura 14.21 muestra esta diferencia.
- **Compartido frente a dedicado.** En una conexión de circuito conmutado, los enlaces que configuran un camino se encuentran dedicados y no se pueden utilizar en otras conexiones. En una conexión de circuito virtual, los enlaces que configuran una ruta pueden ser compartidos por otras conexiones. La Figura 14.22 muestra esta diferencia.

14.3. CONMUTACIÓN DE MENSAJES

La **conmutación de mensajes** se conoce mejor por el término descriptivo **almacenar y reenviar.** En este mecanismo, un nodo (normalmente una computadora especial con varios discos) recibe un mensaje, lo almacena hasta que la ruta apropiada está libre y luego lo envía.

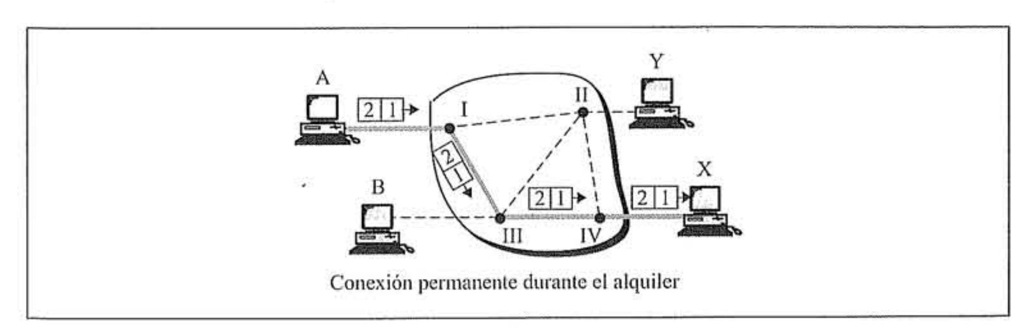


Figura 14.20. *Circuito virtual permanente (PVC).*

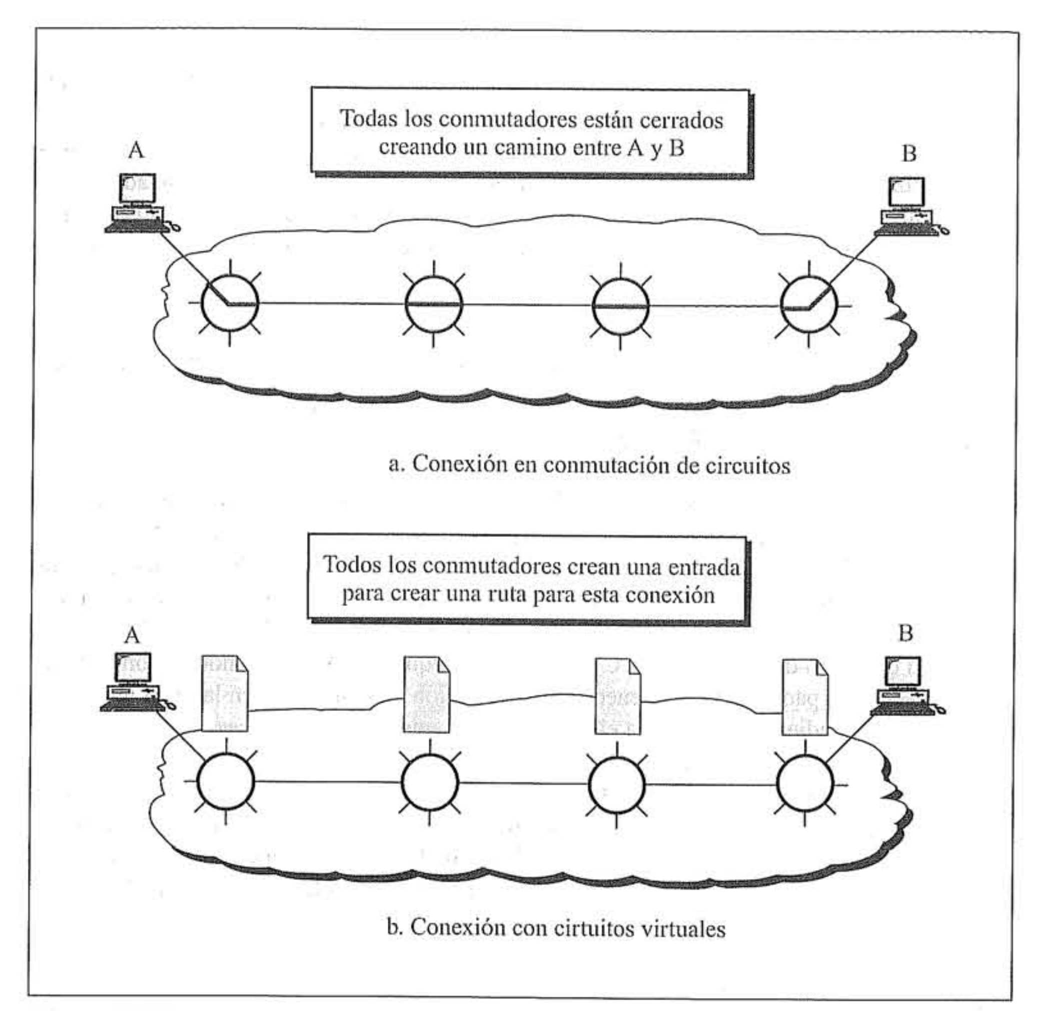


Figura 14.21. *Ruta frente a camino.*

Almacenar y reenviar se considera una técnica de conmutación debido a que no hay un enlace directo entre el emisor y el receptor de la transmisión. Un mensaje es entregado a un nodo del camino y luego encaminado hasta llegar a su destino.

Observe que en la conmutación de mensajes, los mensajes son almacenados en una memoria secundaria (en disco), mientras que en la conmutación de paquetes, los paquetes se almacenan en memoria principal.

La conmutación de mensajes fue común en los años 60 y 70. Sus usos principales fueron proporcionar servicios de red de alto nivel (por ejemplo, la entrega retrasada, la difusión) para dispositivos sin inteligencia. Debido a que estos dispositivos han sido reemplazados, este tipo de conmutación ha desaparecido prácticamente. Además, los retardos inherentes del proceso, así como el requisito de gran capacidad de almacenamiento en cada nodo, lo hacen muy poco atractivo para la comunicación directa (véase la Figura 14.23).

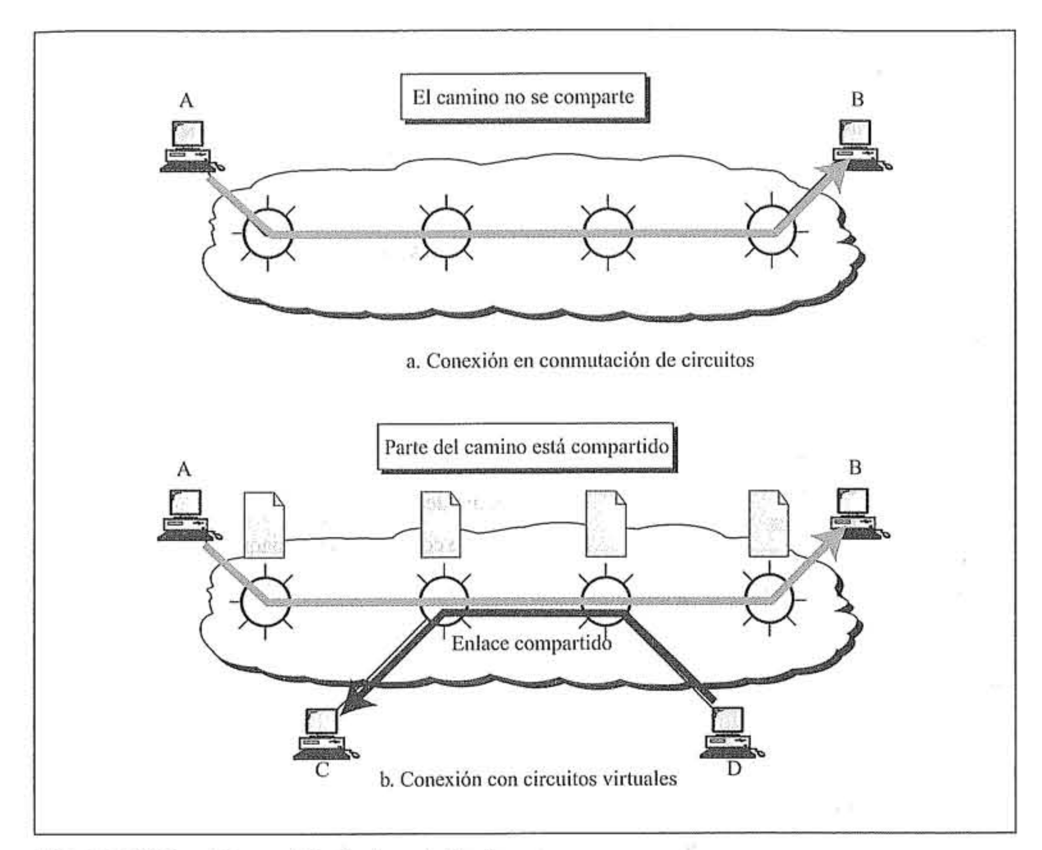


Figura 14.22. *Compartido frente a dedicado.*

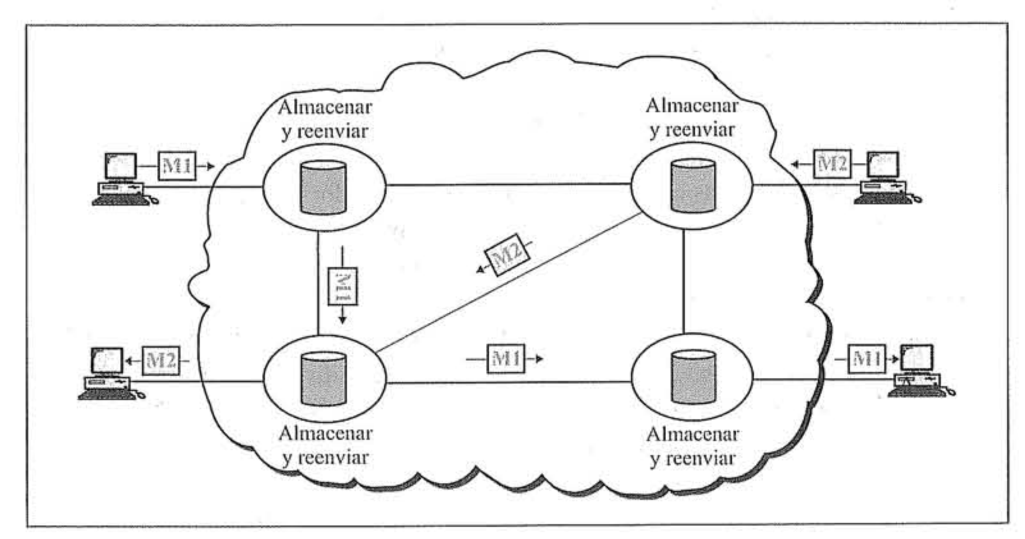


Figura 14.23. *Conmutación de mensajes.*

14.4. TÉRMINOS Y CONCEPTOS CLAVE

almacenar y reenviar
bloqueo
bucle local
bus TDM
camino
circuito virtual
circuito virtual conmutado (SVC)
circuito virtual permanente (PVC)
conexión punto a punto
conmutación de circuitos
conmutación de circuitos basada en datagramas
conmutación de mensajes
conmutación de paquetes
conmutación de paquetes basada en circuitos virtuales
conmutación por división en el espacio
conmutación por división en el tiempo
conmutador
conmutador de barras cruzadas
conmutador multietapa
datagrama
intercambio de ranuras temporales (TSI)
marcación por tonos
paquete
punto de cruce
red de conmutación de paquetes
red telefónica conmutada (PSTN)
ruta

14.5. RESUMEN

- La conmutación es un método en el que varios dispositivos de comunicación se conectan a otros de forma eficiente.
- Un conmutador es un dispositivo *hardware* o *software* intermedio que enlaza dispositivos de forma temporal.
- Existen tres métodos fundamentales de conmutación: conmutación de circuitos, conmutación de paquetes y conmutación de mensajes.
- En la conmutación de circuitos, los paquetes de un dispositivo viajan a través de enlaces dedicados al destino. Se puede emplear conmutación por división en el espacio o en el tiempo.
- En la conmutación por división en el espacio, el camino que existe entre dos dispositivos se encuentra separado espacialmente de otros caminos.
- Un conmutador de barras cruzadas constituye el conmutador por división en el espacio más habitual. Conecta n entradas a m salidas mediante $n \times m$ puntos de cruce.
- Los conmutadores multietapa pueden reducir el número de puntos de cruce necesarios, pero pueden dar lugar a bloqueos.
- Un bloqueo ocurre cuando no todas las entradas tienen su propio camino hacia una salida.
- En un conmutador por división en el tiempo, las entradas se dividen en el tiempo utilizando TDM. Una unidad de control envía la entrada hacia el dispositivo de salida correcto.
- Se pueden combinar la conmutación por división en el tiempo y en el espacio.
- La red telefónica conmutada es un ejemplo de red de conmutación de circuitos.
- La conmutación de paquetes es generalmente más eficiente que la conmutación de circuitos para comunicaciones que no requieren voz.

- Hay dos enfoques tradicionales para la conmutación de paquetes: el enfoque basado en datagramas y el enfoque basado en circuitos virtuales.
- En el enfoque basado en datagramas, cada paquete (denominado datagrama) es tratado de forma independiente al resto de paquetes.
- En el enfoque basado en circuitos virtuales, todos los paquetes de un mismo mensaje o sesión siguen la misma ruta. La conmutación virtual basada en circuitos virtuales se implementa de dos formas: circuitos virtuales conmutados (SVC) y circuitos virtuales permanentes (PVC).
- En conmutación de mensajes (también denominada almacenar y reenviar), un nodo recibe un mensaje, lo almacena y luego lo envía.
- En conmutación de circuitos, los diferentes segmentos de un mensaje siguen un camino dedicado. En la conmutación de paquetes mediante circuitos virtuales, los segmentos siguen una ruta creada y los enlaces de esta ruta pueden compartirse entre varias conexiones.

14.6. MATERIAL PRÁCTICO

Preguntas de revisión

1. ¿Qué es más eficiente, la conmutación de circuitos virtuales o la conmutación de circuitos? ¿Por qué?
2. Analice el concepto de conmutación en relación a los problemas involucrados en la conexión de dispositivos.
3. ¿Cuáles son los tres métodos de conmutación?
4. ¿Cuáles son los dos tipos de conmutadores utilizados en conmutación de circuitos?
5. ¿Qué es un punto de cruce en un conmutador de barras cruzadas?
6. ¿Cuál es el factor limitante en un conmutador de barras cruzadas? ¿De qué forma alivia el problema un conmutador multietapa?
7. ¿Cómo se relaciona el bloqueo con un conmutador de barras cruzadas?
8. ¿Cómo se relaciona el bloqueo con un conmutador multietapa?
9. Compare el mecanismo de conmutación por división en el espacio con el mecanismo de conmutación por división en el tiempo.
10. Indique las dos tecnologías utilizadas en la conmutación por división en el tiempo.
11. Compare un conmutador TSI con un bus TDM.
12. ¿Cuál es la función de la unidad de control en un conmutador TSI y en un bus TDM?
13. ¿En qué es mejor la conmutación por división en el espacio a la conmutación por división en el tiempo?
14. ¿En qué es mejor la conmutación por división en el tiempo a la conmutación por división en el espacio?
15. ¿Cuáles son los cinco tipos de centrales de una red telefónica conmutada?
16. ¿Por qué es poco eficiente la conmutación de circuitos para la transmisión de datos sin voz?
17. ¿Cuál es la diferencia fundamental entre la conmutación de circuitos y la conmutación de paquetes?
18. ¿Cuáles son los dos enfoques tradicionales de la conmutación de paquetes?

19. Suponga que un mensaje se fragmenta en tres trozos. Analice la transmisión de los paquetes utilizando datagramas.
20. Suponga que un mensaje se fragmenta en tres trozos. Analice la transmisión de los paquetes utilizando un circuito virtual permanente.
21. Suponga que un mensaje se fragmenta en tres trozos. Analice la transmisión de los paquetes utilizando un circuito virtual conmutado.
22. ¿Por qué la conmutación de mensajes ha sido reemplazada por los otros métodos de conmutación?

Preguntas con respuesta múltiple

23. ¿Qué tipo de conmutación utiliza la capacidad entera de un enlace dedicado?
    a. conmutación de circuitos
    b. conmutación de paquetes basada en datagramas
    c. conmutación de paquetes basada en circuitos virtuales
    d. conmutación de mensajes
24. ____ es un dispositivo que conecta n entrada a m salidas.
    a. Un punto de cruce
    b. Un conmutador de barras cruzadas
    c. Un módem
    d. Una RAM
25. ¿En qué tipo de conmutación, todos los datagramas de un mensaje siguen los mismos canales de un camino?
    a. conmutación de circuitos
    b. conmutación de paquetes basada en datagramas
    c. conmutación de paquetes basada en circuitos virtuales
    d. conmutación de mensajes
26. ¿Cuántos puntos de cruce se necesitan en un conmutador de una etapa con 40 entradas y 50 salidas?
    a. 40
    b. 50
    c. 90
    d. 2.000
27. En un conmutador de barras cruzadas con 1.000 puntos de cruce, ¿cuántas, estadísticamente, se utilizan al mismo tiempo?
    a. 100
    b. 250
    c. 500
    d. 1.000
28. ____ de un conmutador TSI controla el orden de entrega de los valores de las ranuras que se almacenan en la RAM
    a. El conmutador de barras cruzadas
    b. El punto de cruce
    c. La unidad de control
    d. El ransceptor
29. En la conmutación de circuitos ____, la entrega de los datos se retrasa debido a que estos deben almacenarse en una RAM y recuperarse después.

    a. por división en el espacio
    b. por división en el tiempo
    c. virtual
    d. de paquetes
30. En ____, cada paquete de un mensaje no necesita seguir el mismo camino del emisor al receptor
    a. conmutación de circuitos
    b. conmutación de mensajes
    c. conmutación de paquetes basada en circuitos virtuales
    d. conmutación de paquetes basada en datagramas
31. En ____, cada paquete de un mensaje sigue el mismo camino del emisor al receptor
    a. conmutación de circuitos
    b. conmutación de mensajes
    c. conmutación de paquetes basada en circuitos virtuales
    d. conmutación de paquetes basada en datagramas
32. La conmutación de circuitos virtuales involucra ____.
    a. el establecimiento de la conexión
    b. transferencia de datos
    c. liberación de conexión
    d. todas las anteriores
33. Un circuito virtual permanente involucra ____.
    a. establecimiento de la conexión
    b. transferencia de datos
    c. liberación de la conexión
    d. todas las anteriores
34. Para crear un ____, se combinan conmutadores de barras cruzadas en etapas.
    a. conmutador multietapa
    b. punto de cruce
    c. conmutador de paquetes
    d. conmutador TSI
35. ¿Cuál de los siguientes es un conmutador por división en el tiempo?
    a. conmutador TSI
    b. bus TDM
    c. punto de cruce
    d. a y b
36. En la conmutación por división en el tiempo, un ____ gobierna el destino de un paquete almacenado en RAM.
    a. bus TDM
    b. punto de cruce
    c. conmutador de barras cruzadas
    d. unidad de control
37. La red telefónica conmutada es un ejemplo de red ____.
    a. de conmutación de paquetes
    b. de conmutación de circuitos
    c. de conmutación de mensajes
    d. ninguna de las anteriores

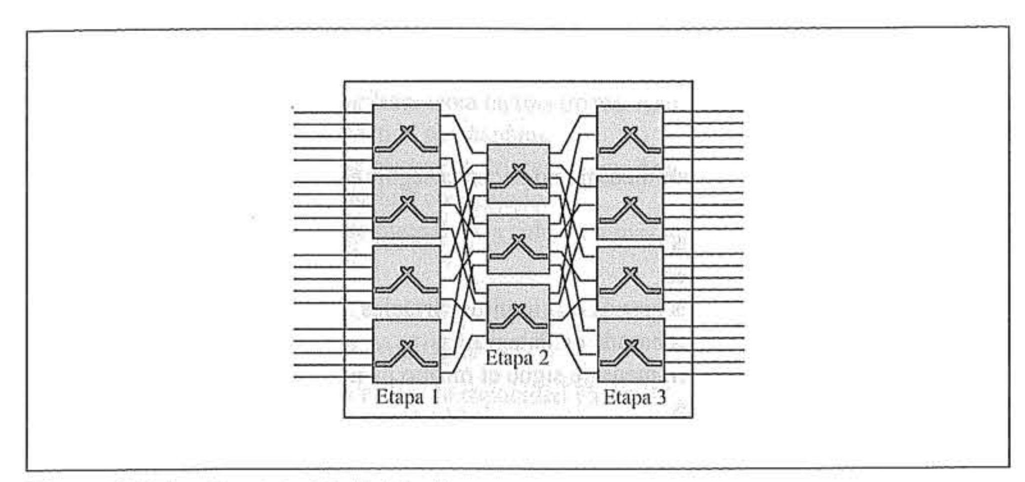


Figura 14.24. *Ejercicios 39, 40, 42 y 43.*

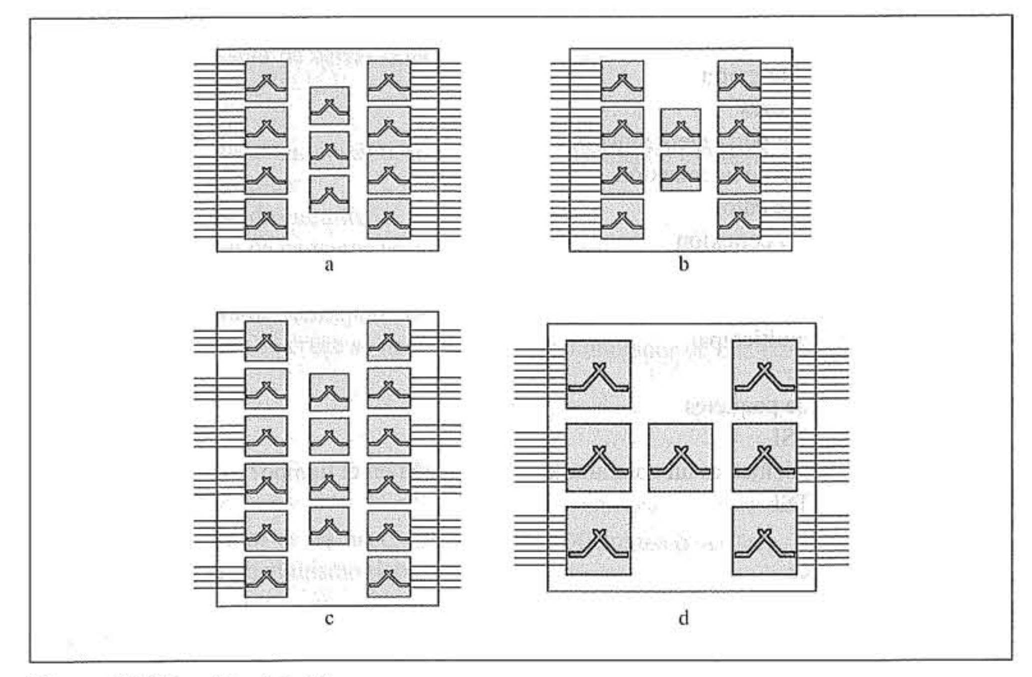


Figura 14.25. *Ejercicio 44.*

Ejercicios

38. ¿Cuántos puntos de cruce se necesitan si se utiliza un conmutador de barras cruzadas para conectar 1.000 teléfonos en un pequeño pueblo?
39. En la Figura 14.24, encuentre el número de puntos de cruce necesarios.
40. ¿Cuántos puntos de cruce se necesitan si sólo se utiliza un conmutador de barras cruzadas en la Figura 14.24?

41. Utilizando los ejercicios 39 y 40, ¿en cuánto se mejora la eficiencia si se utilizan tres etapas en lugar de una?
42. En la Figura 14.24, ¿cuántos usuarios conectados a la primera etapa pueden acceder al sistema al mismo tiempo? ¿Cuántos usuarios totales pueden acceder al sistema completo? ¿Hay alguna relación entre la primera y la segunda respuesta? ¿Puede decir si la segunda respuesta se puede obtener a partir de la primera?
43. En la Figura 14.24, ¿se puede aliviar el problema del bloqueo añadiendo más conmutadores en la segunda etapa?
44. ¿Cuál de los conmutadores de tres etapas de la Figura 14.25 tiene un mejor rendimiento en términos de bloqueo? Justifique su respuesta. Encuentre el número de conexiones de entrada/salida para los conmutadores intermedios.
45. ¿Cuál es la fórmula, en un conmutador de barras cruzadas de tres etapas, que permite obtener el número de puntos de cruce (n) en términos del número de líneas de entrada/salida (N), el número de conmutadores en la primera y tercera etapa (K) y el número de conmutadores de la segunda etapa (L)?
46. En la Figura 14.12, ¿qué se obtiene en las líneas de salida si las líneas de entrada reciben «A», «B», «C» y «D»?
47. Diseñe un bus TDM plegado con cuatro líneas.
48. Diseñe un conmutador TSSST con 48 entradas y 48 salidas. Los multiplexores de entrada deberían ser de 4×1; los multiplexores de salida deberían ser de 1×4.
49. Diseñe un conmutador STS con 10 entradas y 10 salidas. Los conmutadores de la primera etapa deberían ser de 5×2 y los conmutadores de la última etapa deberían ser de 2×5.
50. Muestre la secuencia de frecuencias enviadas cuando un usuario marca 864-8902 utilizando un teléfono de tonos.
51. Complete la Tabla 14.1 para comparar una red de conmutación de circuitos con un red de conmutación de paquetes.
52. Complete la Tabla 14.2 para comparar una red de conmutación de paquetes basada en datagramas con una basada en circuitos virtuales.
53. Complete la Tabla 14.3 para comparar una conexión PVC con una SVC.

Tabla 14.1. *Ejercicio 51*

Problema	*Conmutación de circuitos*	*Conmutación de paquetes*
Camino dedicado		
Almacenar y reenviar		
Necesidad de establecimiento de conexión		
Tabla de encaminamiento		
Retardo		

Tabla 14.2. *Ejercicio 52*

Problema	*Datagramas*	*Circuito virtual*
Todos los paquetes siguen la misma ruta		
Búsqueda en la tabla		
Establecimiento de conexión		
Los paquetes pueden llegar desordenados		

Tabla 14.3. *Ejercicio 53*

Problema	*PVC*	*SVC*
Conexión y desconexión		
Pago		
Búsqueda en la tabla		
Duración de una entrada en la tabla		

CAPÍTULO 15

Protocolo punto a punto (PPP)

Hoy en día, millones de usuarios necesitan conectar sus computadoras desde su casa a las computadoras de un proveedor de Internet para acceder a Internet. También hay muchas personas que necesitan conectarse a una computadora desde casa, pero no quieren hacerlo a través de Internet. La mayoría de estos usuarios disponen de una línea telefónica dedicada o de marcación. La línea telefónica proporciona el enlace físico, pero para controlar y gestionar la transferencia de datos se necesita un protocolo de enlace punto a punto. La Figura 15.1 muestra una conexión física punto a punto.

El primer protocolo diseñado para este propósito fue el **Protocolo de Internet de línea serie (SLIP,** *Serial Line Internet Protocol*). Sin embargo, SLIP tiene algunas deficiencias: no soporta protocolos diferentes al protocolo Internet (IP), no permite que la dirección IP sea asignada dinámicamente y no soporta la autenticación del usuario. El **Protocolo punto a punto (PPP,** *Point-to-Point Protocol*) es un protocolo diseñado para dar respuesta a estas deficiencias.

15.1. TRANSICIÓN DE ESTADOS

Las diferentes fases de una conexión PPP se pueden describir utilizando un diagrama de **transición de estados** como el que se muestra en la Figura 15.2.

- **Estado inactivo.** El **estado inactivo** significa que el enlace no está siendo utilizado. No hay ninguna portadora activa y la línea está tranquila.
- **Estado de establecimiento.** Cuando uno de los puntos finales comienza la comunicación, la conexión realiza una transición hacia el **estado de establecimiento.** En

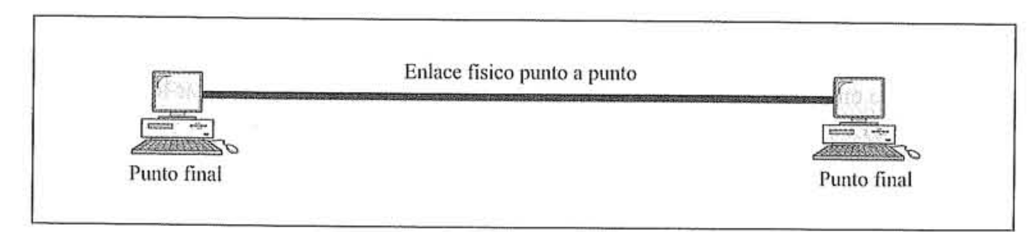


Figura 15.1. *Enlace punto a punto.*

Figura 15.2. *Diagrama de transición de estados.*

este estado se negocian las opciones entre las dos partes. Si la negociación tiene éxito, el sistema se encamina hacia el estado de autenticación (si se necesita autenticación) o directamente al estado de red. Los paquetes LCP, tratados más adelante, se utilizan para este propósito. Se pueden intercambiar varios paquetes durante este estado.

- **Estado de autenticación.** Este estado es opcional. Los dos extremos de la comunicación pueden decidir, durante el establecimiento de la conexión, no entrar en este estado. Sin embargo, si lo deciden pueden proceder con una fase de autenticación, enviándose paquetes de autenticación, que se describirán en una sección posterior. Si la autenticación tiene éxito, la conexión se dirige al estado de red, en caso contrario pasa al estado de terminación.
- **Estado de red.** El estado de red constituye el corazón de los estados de transición. Cuando una conexión alcanza este estado, se puede comenzar el intercambio de paquetes de datos y control de usuario. La conexión permanece en este estado hasta que uno de los extremos finales desea finalizar la conexión.
- **Estado de terminación.** Cuando una conexión alcanza el **estado de terminación,** se intercambian varios paquetes entre los dos extremos para liberar y cerrar el enlace.

15.2. NIVELES DEL PROTOCOLO PPP

La Figura 15.3 muestra los niveles del protocolo PPP. Este protocolo sólo dispone de los niveles físico y de enlace de datos. Esto significa que un protocolo que quiera usar los servicios del protocolo PPP debería tener los otros niveles (red, transporte y otros).

PPP sólo actúa en los niveles físico y de enlace de datos.

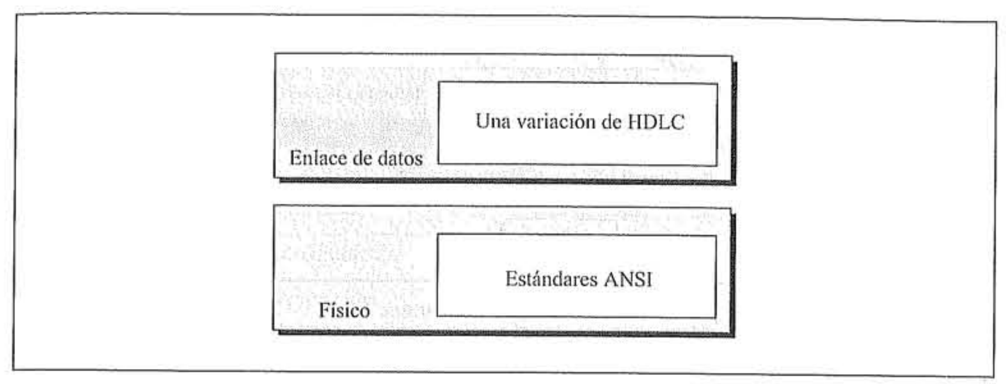


Figura 15.3. *Niveles del protocolo PPP.*

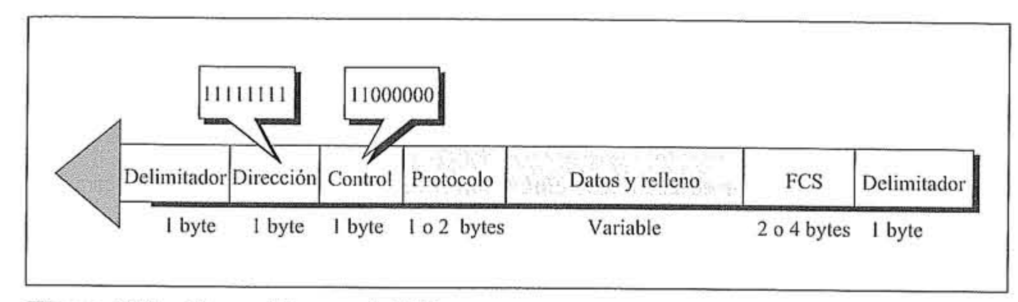


Figura 15.4. *Trama del protocolo PPP.*

Nivel físico

No se ha definido ningún protocolo específico para nivel físico en el protocolo PPP. En su lugar, se ha dejado que el implementador utilice cualquiera disponible. El protocolo PPP soporta cualquiera de los protocolos reconocidos por ANSI.

Nivel de enlace de datos

En el nivel de enlace de datos, el protocolo PPP emplea una versión del protocolo HDLC. La Figura 15.4 muestra el formato de una trama del protocolo PPP.

A continuación se realiza una descripción de los campos de la trama:

- **Campo delimitador.** El campo delimitador, como en el protocolo HDLC, identifica los límites de una trama del protocolo PPP. Su valor es 01111110.
- **Campo de dirección.** Debido a que el protocolo PPP se utiliza para una conexión punto a punto, utiliza la dirección de difusión de HDLC, 11111111, para evitar una dirección de enlace de datos en el protocolo.
- **Campo de control.** El campo de control utiliza el formato de la trama U del protocolo HDLC. El valor es 11000000 para mostrar que la trama no contiene ningún número de secuencia y que no hay control de errores ni de flujo.
- **Campo de protocolo.** El campo de protocolo define qué está transportando el campo de datos: datos de usuario u otra información. Este campo se tratará más adelante.

Figura 15.5. *Paquete del protocolo LCP encapsulado en una trama.*

- **Campo de datos.** Este campo transporta datos de usuario u otra información que se describirá más adelante.
- **FCS.** El campo de secuencia de comprobación de trama, como en HDLC, es simplemente una suma de comprobación de dos bytes o cuatro bytes.

15.3. PROTOCOLO DE CONTROL DE ENLACE (LCP)

El **protocolo de control de enlace** (LCP, *Link Control Protocol*) es responsable del establecimiento, mantenimiento, configuración y terminación del enlace. También proporciona mecanismos de negociación para establecer las opciones entre los dos extremos de la comunicación. Ambos extremos del enlace deben alcanzar un acuerdo sobre las opciones antes de que se pueda establecer el enlace.

Todos los paquetes del protocolo LCP son transportados en el campo de carga de la trama del protocolo PPP. Lo que indica que la trama está transportando un paquete LCP es el campo de protocolo, que debería contener el valor $C021_{16}$. La Figura 15.5 muestra el formato del paquete del protocolo LCP.

A continuación se describen los campos de este paquete:

- **Código.** Este campo define el tipo de paquete LCP. En la siguiente sección se describirá el uso y objetivo de estos paquetes.
- **ID.** Este campo almacena un valor que se utiliza para establecer la correspondencia entre una petición y su respuesta. Uno de los extremos de la comunicación inserta un valor en este campo, que será copiado en el paquete de respuesta.
- **Longitud.** Este campo define la longitud del paquete LCP completo.
- **Información.** Este campo contiene información extra necesaria para algunos paquetes del protocolo LCP.

Paquetes del protocolo LCP

La Tabla 15.1 lista algunos paquetes del protocolo LCP.

Paquetes de configuración

Los paquetes de configuración se utilizan para negociar las opciones entre los dos extremos de la comunicación. Hay cuatros paquetes que se utilizan para este propósito: petición de configuración, ACK de configuración, NAK de configuración y rechazo de configuración.

Tabla 15.1. *Paquetes del protocolo LCP y sus códigos*

Código	*Tipo de paquete*	*Descripción*
01_{16}	Petición de configuración	Contiene la lista de opciones propuesta y sus valores
02_{16}	ACK de configuración	Acepta todas las opciones propuestas
03_{16}	NAK de configuración	Informa que algunas opciones no son aceptables
04_{16}	Rechazo de configuración	Informa que algunas opciones no son reconocidas
05_{16}	Petición de terminación	Solicita el cierre de la línea
06_{16}	ACK de terminación	Acepta la petición de cierre
07_{16}	Rechazo de código	Informa de un código desconocido
08_{16}	Rechazo de protocolo	Informa de un protocolo desconocido
09_{16}	Petición de eco	Un tipo de mensaje hola para comprobar si el otro extremo está activo
$0A_{16}$	Respuesta de eco	La respuesta al mensaje de petición de eco
$0B_{16}$	Petición de descarte	Una petición para descartar el paquete

- **Petición de configuración.** El extremo que desea iniciar la conexión envía un mensaje de petición de configuración con una lista de cero o más opciones al otro extremo de la comunicación. Observe que todas las opciones deberían negociarse en un paquete.
- **ACK de configuración.** Si todas las opciones listadas en el paquete de petición de configuración son aceptadas por el receptor, éste envía un ACK de configuración, que repite todas las opciones solicitadas.
- **NAK de configuración.** Si el receptor del paquete de petición de configuración reconoce todas las opciones pero encuentra que algunas deberían ser omitidas o revisadas (se deberían cambiar los valores), envía un paquete NAK de configuración al emisor. El emisor debería omitir o revisar las opciones y enviar un nuevo paquete de petición de configuración.
- **Rechazo de configuración.** Si algunas de las opciones no son reconocidas por el receptor, responde con un paquete de rechazo de configuración, marcando aquellas opciones que no ha reconocido. El emisor de la petición debería revisar el mensaje de petición de configuración y enviar uno nuevo.

Paquetes de terminación del enlace

Los paquetes de terminación del enlace se utilizan para desconectar el enlace entre los dos extremos de la comunicación.

- **Petición de terminación.** Cualquier parte puede finalizar el enlace enviando un paquete de terminación de enlace.
- **ACK de terminación.** La parte que recibe el paquete de petición de terminación debería responder con un paquete de confirmación de terminación.

Paquetes de depuración y monitorización del enlace

Estos paquetes se utilizan para depurar y monitorizar el enlace.

- **Rechazo de código.** Si uno de los extremos de la comunicación recibe un paquete con un código no reconocido en el paquete, envía un paquete de rechazo de código.
- **Rechazo de protocolo.** Si uno de los extremos de la comunicación recibe un paquete con un protocolo no reconocido en la trama, envía un paquete de rechazo de protocolo.
- **Petición de eco.** Este paquete es enviado para monitorizar el enlace. Su objetivo es comprobar si el enlace está funcionando. El emisor espera recibir un paquete de respuesta de eco del otro extremo de la comunicación como prueba.
- **Respuesta de eco.** Este paquete es enviado en respuesta a una petición de eco. El campo de información en el paquete de respuesta de eco es duplicado y enviado al emisor en el paquete de respuesta de eco.
- **Petición de descarte.** Este es un tipo de paquete de comprobación de bucle cerrado. Es utilizado por emisor para comprobar su propia condición de bucle cerrado. El recepto del paquete simplemente lo descarta.

Opciones

Hay muchas opciones que pueden negociarse entre los dos extremos de la comunicación. Las opciones se insertan en el campo de información de los paquetes de configuración. En la Tabla 15.2 se muestran las opciones más comunes.

15.4. AUTENTICACIÓN

La autenticación juega un papel muy importante en el protocolo PPP debido a que está diseñado para su empleo en enlaces de marcación donde la verificación de la identidad de los usuarios en necesaria. La **autenticación** significa validar la identidad de un usuario que necesita acceder a un conjunto de recursos. El protocolo PPP ha creado dos protocolos de autenticación: el protocolo de autenticación de palabra clave (PAP, *Password Authentication Protocol*) y el protocolo de autenticación por desafío (CHAP, *Challenge Handshake Authentication Protocol*).

Tabla 15.2. *Opciones comunes*

Opción	*Valor por defecto*
Unidad de recepción máxima	1.500
Protocolo de autenticación	Ninguno
Compresión del campo de protocolo	Desactivado
Compresión del campo de control y dirección	Desactivado

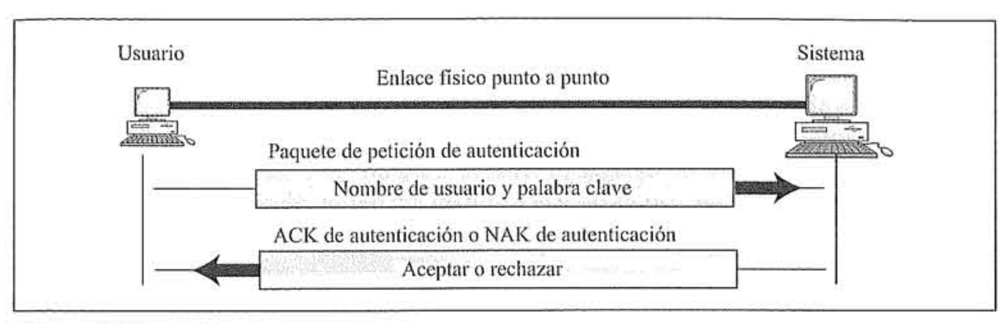


Figura 15.6. *PAP.*

PAP

El **protocolo de autenticación de palabra clave (PAP)** es un procedimiento de autenticación sencillo que consta de dos etapas:

- El emisor que desea acceder al sistema envía una identificación de autenticación (normalmente el nombre de usuario) y una palabra clave.
- El sistema comprueba la validez de la identificación y la palabra clave y acepta o deniega la conexión.

Para aquellos sistema que necesitan más seguridad, PAP no es suficiente: una tercera parte con acceso al enlace puede fácilmente copiar la palabra clave y acceder a los recursos del sistema. La Figura 15.6 muestra la idea del protocolo PAP.

Paquetes de protocolo PAP

Los paquetes del protocolo PAP se encapsulan en una trama del protocolo PPP. Lo que distingue a un paquete del protocolo PAP de otros paquetes es el valor del campo de protocolo, $C023_{16}$. Hay tres paquetes en el protocolo PAP: petición de autenticación, ACK de autenticación y NAK de autenticación. El primer paquete lo utiliza el usuario que envía el nombre de usuario y la palabra clave. El segundo lo utiliza el sistema para permitir el acceso. El tercero lo utiliza el sistema para denegar el acceso. La Figura 15.7 muestra el formato de los tres paquetes.

CHAP

El **protocolo de autenticación por desafío (CHAP)** es un protocolo de autenticación por desafío de tres fases que ofrece más seguridad que el protocolo PAP. En este método la palabra clave siempre se almacena de forma secreta y nunca se envía por la línea.

- El sistema envía al usuario un paquete de desafío que contiene un valor de desafío, normalmente unos cuantos bytes.
- El usuario aplica una función predefinida que toma el valor del desafío y su propia palabra clave y crea un resultado. El usuario envía el resultado en el paquete de respuesta al sistema.
- El sistema realiza el mismo proceso. Aplica la misma función a la palabra clave del usuario (conocida por el sistema) y el valor del desafío para crear un resultado. Si el

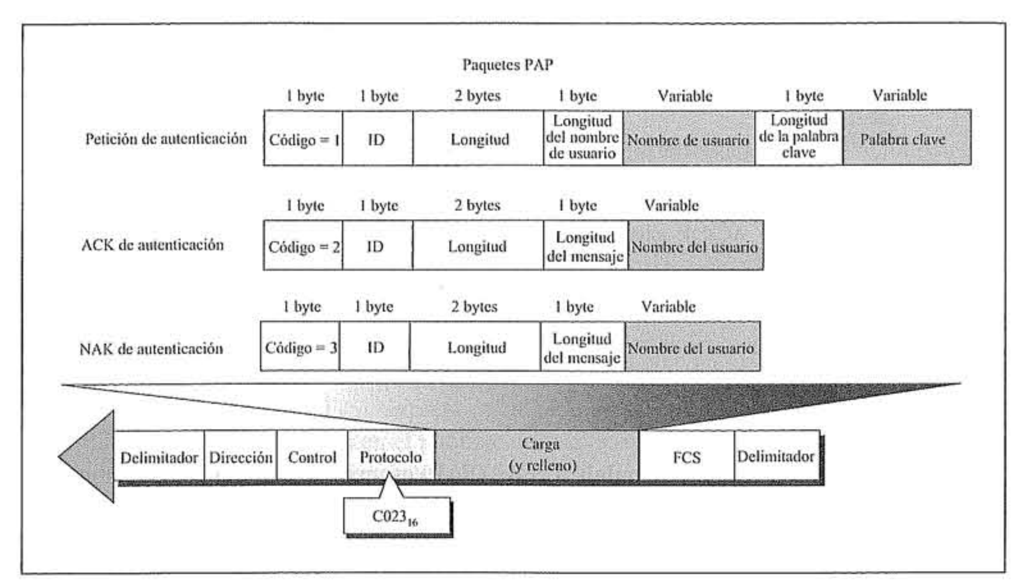


Figura 15.7. *Paquetes del protocolo PAP.*

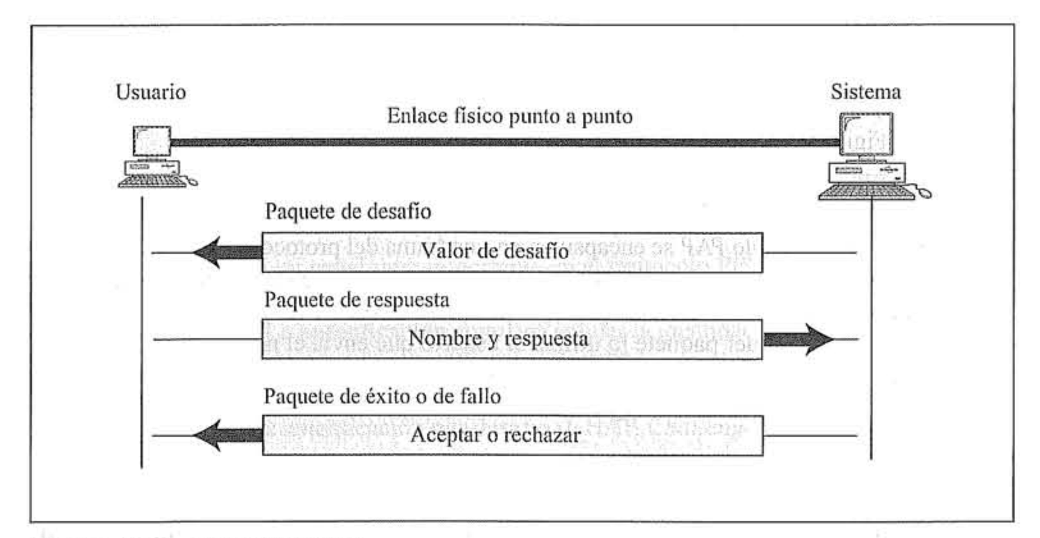


Figura 15.8. *Protocolo CHAP.*

resultado creado es el mismo que el resultado enviado en el paquete de respuesta, se concede al acceso. En caso contrario se deniega.

El protocolo CHAP es más seguro que el protocolo PAP, especialmente si el sistema cambia continuamente el valor del desafío. Incluso aunque un intruso capture el valor del reto y el resultado, la palabra clave permanece secreta. La Figura 15.8 muestra la idea de este protocolo.

Paquetes del protocolo CHAP

Los paquetes de este protocolo se encapsulan en la trama del protocolo PPP. Lo que distingue a un paquete del protocolo CHAP de otros paquetes es el valor del campo de control, $C223_{16}$. Hay cuatro paquetes en este protocolo: desafío, respuesta, éxito y fallo. El primer paquete lo utiliza el sistema para enviar el valor del desafío. El segundo lo utiliza el usuario para devolver el resultado del cálculo. El tercero lo utiliza el sistema para permitir el acceso al sistema. El cuarto lo utiliza el sistema para denegar el acceso al sistema. La Figura 15.9 muestra el formato de estos cuatro paquetes.

15.5. PROTOCOLO DE CONTROL DE RED (NCP)

Una vez establecido el enlace y realizada con éxito la autenticación (si la hay), la conexión se encamina al estado de red. En este estado, el protocolo PPP utiliza otro protocolo denominado **Protocolo de control de red (NCP,** *Network Control Protocol*). El protocolo NCP es un conjunto de protocolos de control que permite el encapsulamiento de datos procedentes de los protocolos de nivel de red (como IP, IPX y AppleTalk) en la trama del protocolo PPP.

IPCP

El conjunto de paquetes que establece y finaliza una conexión de nivel de red para paquetes IP se denomina **Protocolo de control de protocolo entre redes (IPCP,** *Internetwork Protocol Control Protocol*). En la Figura 15.10 se muestra el formato de un paquete del protocolo

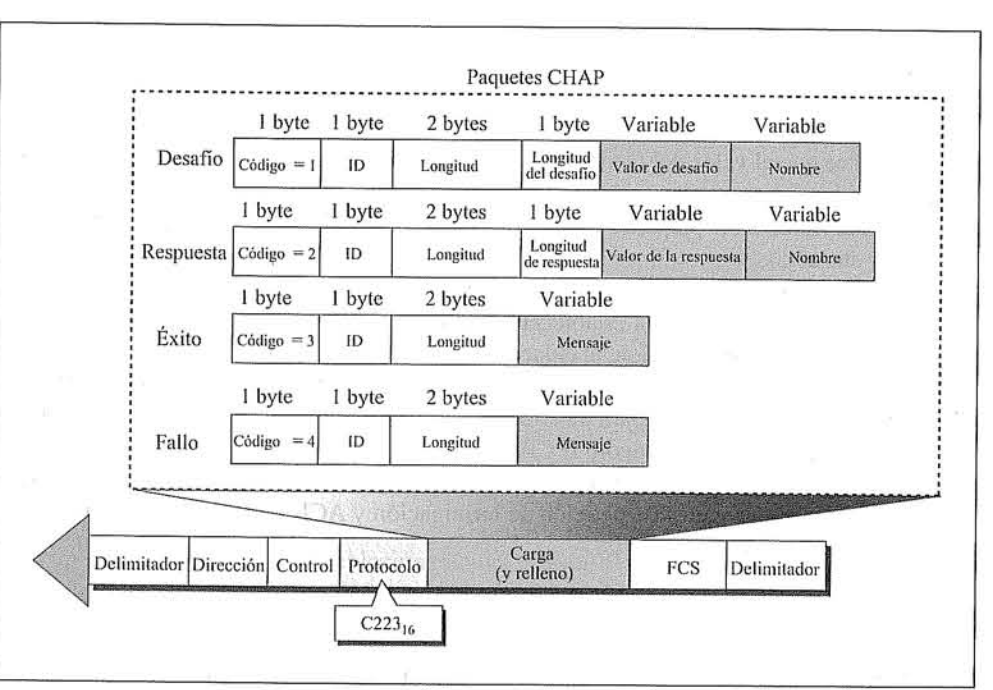


Figura 15.9. *Paquetes del protocolo CHAP.*

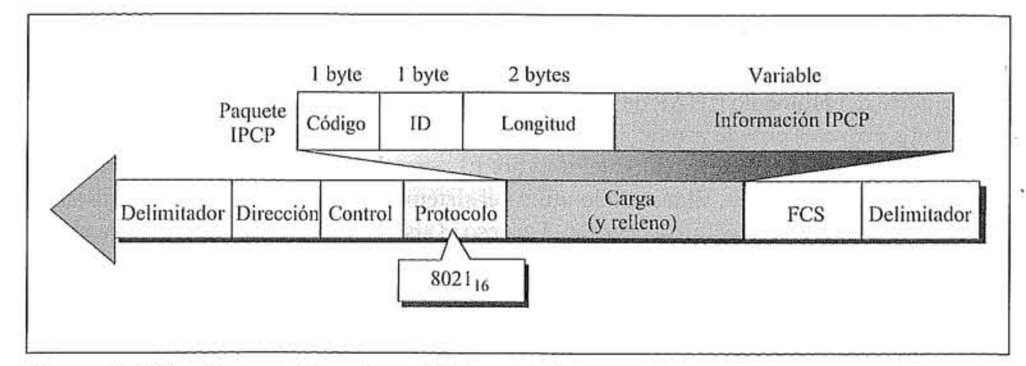


Figura 15.10. *Paquete del producto IPCP encapsulado en una trama del protocolo PPP.*

Tabla 15.3. *Valores de los códigos para los paquetes del protocolo IPCP.*

Código	*Paquete del protocolo IPCP*
01	Petición de configuración
02	ACK de configuración
03	NAK de configuración
04	Rechazo de configuración
05	Petición de terminación
06	ACK de terminación
07	Rechazo de código

IPCP. Observe que el valor del campo del protocolo, 8021_{16}, define el paquete encapsulado en el protocolo como un paquete del protocolo IPCP.

Se han definido siete paquetes en el protocolo IPCP. En la Tabla 15.3 se muestran estos paquetes y sus códigos.

Cualquier parte puede utilizar el paquete de petición de configuración para negociar las opciones con la otra parte y para establecer la direcciones IP.

Después de una configuración, el enlace se encuentra listo para transportar datos del protocolo IP en el campo de carga de una trama del protocolo PPP. En este momento, el valor del campo del protocolo es 0021_{16}, para mostrar que se está enviando por el enlace un paquete de datos IP, no un paquete del protocolo IPCP.

Una vez que el protocolo IP ha enviado todos sus paquetes, el protocolo IPCP puede tomar el control y usar los paquetes de petición de terminación y ACK de terminación para finalizar la conexión de red.

Otros protocolos

Observe que otros protocolos tienen su propio conjunto de paquetes de control definidos por el valor del campo de protocolo de la trama del protocolo PPP.

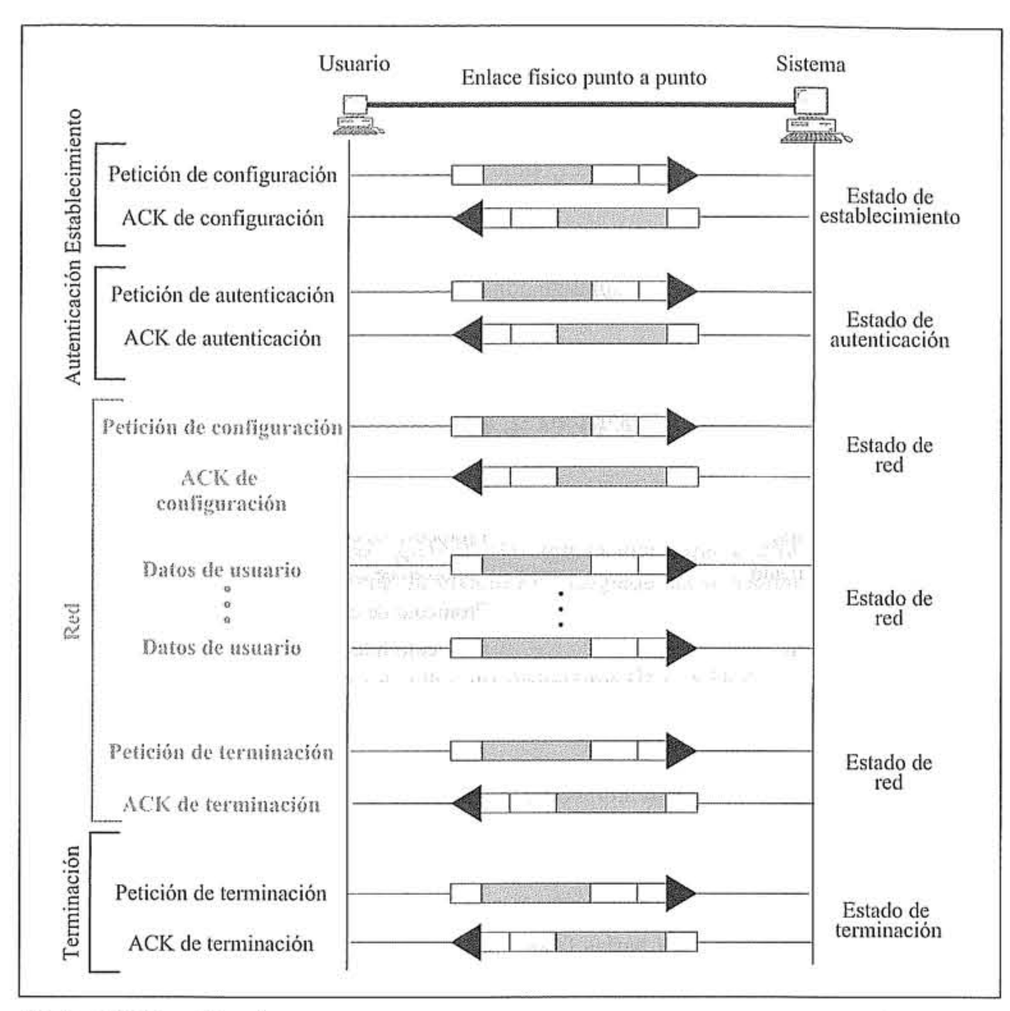


Figura 15.11. *Ejemplo.*

15.6. EJEMPLO

Se va a mostrar a continuación un ejemplo de los estados a través de los cuales una conexión PPP entrega algunos paquetes del nivel de red. La Figura 15.11 muestra estas etapas:

- **Establecimiento.** El usuario envía el paquete de petición de configuración para negociar las opciones de establecimiento del enlace. El usuario solicita una autenticación utilizando el protocolo PAP. Una vez que el usuario recibe el paquete de ACK de configuración, se establece el enlace.
- **Autenticación.** El usuario envía un paquete de petición de autenticación que incluye el nombre de usuario y la palabra clave. En cuanto se recibe el paquete de ACK de configuración, la fase de autenticación se ha completado.

- **Red.** Ahora el usuario envía la petición de configuración para negociar las opciones para la actividad del nivel de red. Después de recibir el ACK de configuración, el usuario puede enviar los datos del nivel de red, que consumen varias tramas. Una vez enviados todos los datos, el usuario envía la petición de terminación para finalizar la actividad del nivel de red. Cuando se recibe el paquete ACK de terminación, se completa la fase de red. La conexión se encamina hacia el estado de terminación.
- **Terminación.** El usuario envía el paquete de petición de terminación para finalizar el enlace. El enlace finaliza con la recepción del paquete ACK de terminación.

15.7. TÉRMINOS Y CONCEPTOS CLAVE

autenticación
estado de autenticación
estado de establecimiento
estado de red
estado de terminación
estado inactivo
Protocolo de autenticación de palabra clave (PAP)
Protocolo de autenticación por desafío (CHAP)
Protocolo de control de enlace (LCP)
Protocolo de control de protocolo entre redes (IPCP)
Protocolo de control de red (NCP)
Protocolo Internet de línea serie (SLIP)
Protocolo punto a punto (PPP)
transición de estados

15.8. RESUMEN

- El protocolo punto a punto (PPP) se diseñó para usuarios que necesitan conectarse a una computadora a través de la línea telefónica.
- Una conexión PPP pasa por varias fases: inactiva, establecimiento, autenticación, red y terminación.
- El protocolo PPP funciona en los niveles físico y de enlace de datos del modelo OSI.
- En el nivel de enlace de datos, el protocolo PPP emplea una versión de HDLC.
- El protocolo de control de enlace (LCP) es el responsable del establecimiento, mantenimiento, configuración y terminación del enlace.
- El protocolo de autenticación de palabra clave (PAP) y el protocolo de autenticación por desafío (CHAP) son dos protocolos utilizados para la autenticación en el protocolo PPP.
- El protocolo PAP consta de dos etapas. El usuario envía identificación de autenticación y una palabra clave. El sistema determina la validez de la información enviada.
- El protocolo CHAP consta de tres etapas. El sistema envía un valor al usuario. El usuario manipula el valor y envía su resultado. El sistema verifica el resultado.
- El protocolo de control de red (NCP) es un conjunto de protocolos. Cada conjunto es específico para un protocolo de nivel de red que requiera los servicios del protocolo PPP.
- El protocolo de control de protocolo entre redes (IPCP) es un protocolo NCP que establece y finaliza la conexión en el nivel de red para paquetes IP.

15.9. MATERIAL PRÁCTICO

Preguntas de revisión

1. ¿Qué tipo de usuarios necesita el protocolo PPP?
2. Describa cada uno de los estados de una conexión PPP.
3. Analice el nivel físico del protocolo PPP.
4. Analice el nivel de enlace de datos del protocolo PPP.
5. Analice el campo de control de la trama del protocolo PPP.
6. ¿Cuál es el objetivo del protocolo LCP?
7. Analice las relaciones que existen entre el paquete del protocolo LCP y la trama del protocolo PPP.
8. ¿Cuáles son las categorías de paquetes del protocolo LCP? ¿Cuál es la función de cada categoría?
9. ¿Qué dos protocolos se utilizan para la autenticación en el protocolo PPP?
10. ¿Cómo funciona el protocolo PAP? ¿Cuál es su principal deficiencia?
11. ¿Cómo funciona el protocolo CHAP? ¿Por qué es mejor que el protocolo PAP?
12. ¿Cómo transporta la trama del protocolo PPP los paquetes de autenticación de los protocolos PAP y CHAP?
13. ¿Cuál es el objetivo del protocolo NCP?
14. ¿Cuál es la relación que existe entre los protocolos IPCP y NCP?

Preguntas con respuesta múltiple

15. Un protocolo que permite la conexión mediante una línea telefónica de una computadora a otra es _______.
    a. PPP
    b. SLIP
    c. LPL
    d. a y b
16. De acuerdo al diagrama de transición de estados del protocolo PPP, el intercambio de paquetes de control y de datos de usuario ocurre en el estado _______.
    a. establecimiento
    b. autenticación
    c. de red
    d. terminación
17. De acuerdo al diagrama de transición de estados del protocolo PPP, las opciones se negocian en el estado _______.
    a. establecimiento
    b. autenticación
    c. de red
    d. terminación
18. De acuerdo al diagrama de transición de estados del protocolo PPP, la verificación de la identidad de un usuario se realiza en el estado _______.
    a. establecimiento
    b. autenticación
    c. de red
    d. terminación

19. De acuerdo al diagrama de transición de estados del protocolo PPP, el enlace se desconecta en el estado _______.
    a. establecimiento
    b. autenticación
    c. de red
    d. terminación
20. El protocolo PPP es un protocolo de nivel _______.
    a. físico
    a. enlace de datos
    c. físico y de enlace de datos
    d. siete
21. ¿Qué protocolo(s) se especifican en el nivel físico del protocolo PPP?
    a. LCP
    b. SLIP
    c. CHAP y PAP
    d. no se especifica ningún protocolo
22. En la trama del protocolo PPP, el campo _______ define el contenido del campo de datos.
    a. delimitador
    b. control
    c. protocolo
    d. FCS
23. En la trama del protocolo PPP, el campo _______ tiene un valor de 11111111 para indicar la dirección de difusión de HDLC.
    a. dirección
    b. control
    c. protocolo
    d. FCS
24. En la trama del protocolo PPP, el campo _______ se utiliza para control de errores.
    a. delimitador
    b. control
    c. protocolo
    d. FCS
25. En la trama del protocolo PPP, el campo _______ se utiliza para control de errores.
    a. delimitador
    b. control
    c. protocolo
    d. FCS
26. ¿Cuál es el objetivo de los paquetes del protocolo LCP?
    a. configuración
    b. terminación
    c. negociación de opciones
    d. todos los anteriores
27. El protocolo_______ utiliza tres fases para la verificación del usuario.
    a. PPP
    b. CHAP
    c. PAP
    d. b y c

28. Un paquete PAP y uno CHAP pueden distinguirse por el valor del campo _______ de la trama del protocolo PPP.
    a. dirección
    b. control
    c. protocolo
    d. FCS
29. PAP requiere _______ y _______ del usuario.
    a. una palabra clave; un valor calculado
    b. identificación de autenticación; una palabra clave
    c. un valor de reto; una palabra clave
    d. una identificación de autenticación; un valor calculado
30. En la autenticación CHAP, el usuario toma la _______ del sistema y su propia _______ para crear un resultado que es enviado al sistema.
    a. identificación de autenticación; palabra clave
    b. palabra clave; valor de desafío
    c. palabra clave; identificación de autenticación
    d. valor de desafío; palabra clave
31. _______, un protocolo_______, establece y libera la conexión del nivel de red para todos los paquetes IP.
    a. NCP; IPCP
    b. CHAP; NCP
    c. IPCP; NCP
    d. SLIP; PPP

Ejercicios

32. ¿Cuál es el valor, en hexadecimal, de los campos de control, de dirección y delimitador?
33. Haga una tabla para comparar la trama del protocolo PPP con la trama U del protocolo HDLC. ¿Qué campos son los mismos? ¿Cuáles son diferentes?
34. El valor de los primeros bytes de una trama es $7EFFC0C02105_{16}$. ¿Cuál es el protocolo de la carga encapsulada? ¿Qué tipo de paquete se está transportando? ¿Cuántos bytes de información se encuentran en el paquete?
35. El valor de los primeros bytes de una trama es $7EFFC0C02109110014_{16}$. ¿Cuál es el protocolo de la carga encapsulada? ¿Qué tipo de paquete se está transportando? ¿Cuántos bytes de información hay en el paquete?
36. Muestre el contenido de un paquete NAK de configuración en el protocolo LCP. Encapsule el paquete en una trama PPP.
37. Muestre el contenido de un paquete NAK de configuración en el protocolo NCP. Encapsule el paquete en una trama PPP.
38. Compare los resultados de los Ejercicios 36 y 37. ¿Qué diferencias observa?
39. Muestre el contenido de un paquete de petición de eco con el mensaje «Hola». Escriba el paquete completo en hexadecimal. Encapsule el paquete en una trama PPP y muestre su contenido en hexadecimal.
40. Muestre el contenido de una respuesta de eco en respuesta al paquete del Ejercicio 39. Escriba el paquete completo en hexadecimal. Encapsule el paquete en una trama PPP y muestre el contenido en hexadecimal.

41. Muestre el contenido del un paquete de petición de autenticación utilizando «Forouzan» como nombre de usuario y «797979» como palabra clave. Encapsule el paquete en una trama PPP.
42. Muestre el contenido de paquete ACK de autenticación que se recibe en respuesta al paquete del ejercicio 41.
43. Muestre el contenido del paquete de desafío (CHAP) utilizando $A4253616_{16}$ como valor de desafío. Encapsule el paquete en una trama PPP.
44. Muestre el contenido de un paquete de respuesta (CHAP) utilizando $6163524A_{16}$ como valor de respuesta. Encapsule el paquete en una trama PPP.
45. Un sistema envía el valor de desafío $2A2B1425_{16}$. La palabra clave del usuario es 22112211_{16}. La función utilizada por el usuario suma el valor del desafío a la palabra clave; el resultado debería dividirse en dos e intercambiarse para obtener la respuesta. Muestre la respuesta del usuario.
46. Si un usuario envía un paquete LCP con un código 02_{16}, ¿cuál es el estado de la conexión después de este evento?
47. Una conexión se encuentra en el estado de establecimiento. Si el usuario recibe un paquete NAK de configuración del protocolo LCP, ¿cuál es el nuevo estado?
48. Una conexión se encuentra en el estado de red. Si el usuario recibe un paquete NAK de configuración del protocolo NCP, ¿cuál es el nuevo estado?
49. Muestre el contenido de todas las tramas de la Figura 15.11. ¿Qué protocolo (LCP, NCP, autenticación y otros) está involucrado en cada transmisión?

CAPÍTULO 16

Red digital de servicios integrados (RDSI)

La **red digital de servicios integrados (RDSI)** fue desarrollada por la ITU-T en 1976. Es un conjunto de protocolos que combinan los servicios de transporte de datos y la telefonía digital. La idea principal es digitalizar la red telefónica para permitir la transmisión de audio, vídeo y texto a través de las líneas telefónicas existentes.

La RDSI constituye un esfuerzo para estandarizar los servicios de los abonados, proporcionar interfaces usuario/red y facilitar la interconexión de las redes de datos y voz existentes.

El objetivo de la RDSI es formar una red de área amplia que proporcione conectividad extremo a extremo universal con medios digitales. Esto se puede hacer integrando todos los servicios de transmisión diferentes en uno, sin añadir nuevos enlaces o líneas de abonado.

16.1. SERVICIOS

El objetivo de la RDSI es proporcionar a los usuarios servicios digitales completamente integrados. Estos servicios se pueden agrupar en tres categorías: servicios portadores, teleservicios y servicios suplementarios (véase la Figura 16.1).

Servicios portadores

Los **servicios portadores** ofrecen un medio para transferir información (voz, datos y vídeo) entre usuarios sin que la red manipule el contenido de la información. La red no necesita procesar la información y por tanto no cambia el contenido. Los servicios portadores pertenecen a los tres primeros niveles del modelo OSI y también fueron definidos en el estándar RDSI. Pueden proporcionarse utilizando redes de conmutación de circuitos, de conmutación de paquetes, de conmutación de tramas o de conmutación de celdas (descritas en los Capítulos 17, 18 y 19).

Teleservicios

En los teleservicios, la red puede cambiar o procesar el contenido de los datos. Estos servicios se corresponden con los niveles 4 a 7 del modelo OSI. Los **teleservicios** dependen

Figura 16.1. *Servicios de la RDSI.*

de las facilidades de los servicios portadores y se han diseñado para acomodar las necesidades de usuarios sin que éstos tengan que preocuparse de los detalles del proceso. Los teleservicios incluyen la telefonía, el telefax, el teletexto, el videotexto, el telex y la teleconferencia. Aunque la RDSI define estos servicios por su nombre, aún no se han convertido en estándares.

Servicios suplementarios

Los **servicios suplementarios** son aquellos servicios que proporcionan funciones adicionales a los servicios portadores y teleservicios. Ejemplos de estos servicios son el cobro revertido, la llamada en espera y el manejo de mensajes, todos ellos familiares debido a que son ofrecidos por las compañías telefónicas de hoy en día.

16.2. HISTORIA

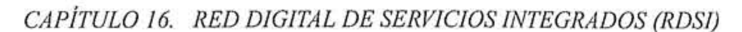
A continuación se describe la historia de la RDSI a través de los eventos más relevantes.

Comunicación de voz sobre redes analógicas

Inicialmente, las redes de telecomunicación eran enteramente **redes analógicas** y se utilizaron para la transmisión de información analógica correspondiente a voz. Los bucles locales que conectaban el equipo del abonado a la central de la compañía telefónica también eran analógicos (véase la Figura 16.2).

Comunicación de datos y voz a través de redes analógicas

Con la llegada del procesamiento digital, los abonados necesitaron intercambiar datos, así como voz. Se desarrollaron los módems para permitir el intercambio digital a través de las líneas analógicas existentes (véase la Figura 16.3).



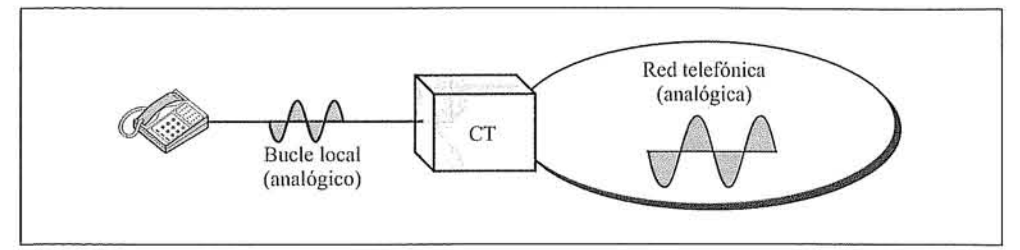


Figura 16.2. *Comunicación de voz a través de redes telefónicas analógicas.*

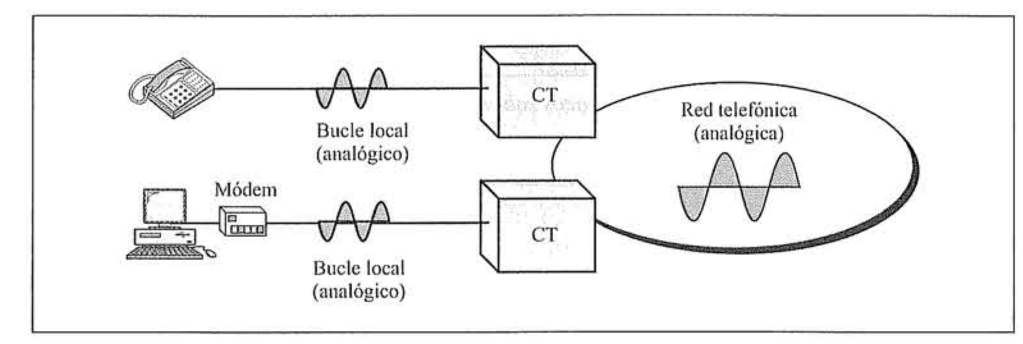


Figura 16.3. *Comunicación de datos a través de redes telefónicas analógicas.*

Servicios digitales y analógicos a los abonados

Para reducir el coste y mejorar las prestaciones, las compañías telefónicas comenzaron gradualmente a añadir tecnologías digitales mientras continuaban ofreciendo a sus clientes servicios analógicos (véase la Figura 16.4).

Durante esta época se identificaron tres tipos de clientes: clientes tradicionales que utilizaban sus bucles locales para objetivos analógicos; clientes que utilizaban las facilidades analógicas para transmitir información digital a través de módem; y clientes que utilizaban los servicios digitales para transmitir información digital. De estos, el primer grupo era el más numeroso y por tanto la mayoría de los servicios ofrecidos siguieron siendo analógicos.

Red digital integrada (RDI)

A continuación, los clientes comenzaron a requerir acceso a diversas redes, como redes de conmutación de paquetes y redes de conmutación de circuitos. Para satisfacer estas necesidades, las compañías telefónicas crearon las **redes digitales integradas (RDI).** Una RDI es un combinación de redes disponibles con objetivos diferentes (véase la Figura 16.5). El acceso a estas redes se realiza a través de **cauces digitales,** que son canales multiplexados en el tiempo que comparten caminos de muy alta velocidad. Los clientes pueden utilizar sus bucles locales para transmitir voz y datos a la central de su compañía telefónica. La central dirige, a continuación, estas llamadas a las **redes digitales** apropiadas mediante cauces digitales. Observe que la mayoría de los abonados actuales continúan utilizando bucles locales analógicos, aunque están disponibles servicios de bucle local digitales como DDS, DS y switched/56. Estos servicios de describieron en el Capítulo 8.

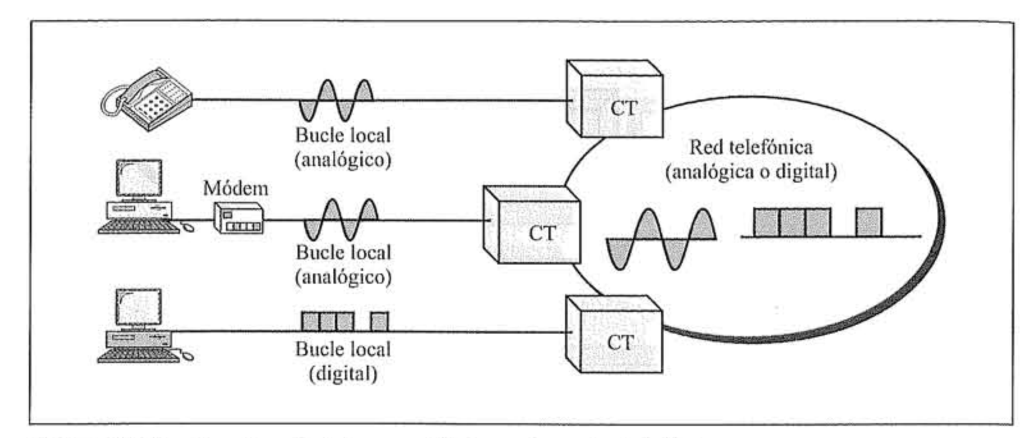


Figura 16.4. *Servicios digitales y analógicos sobre redes telefónicas.*

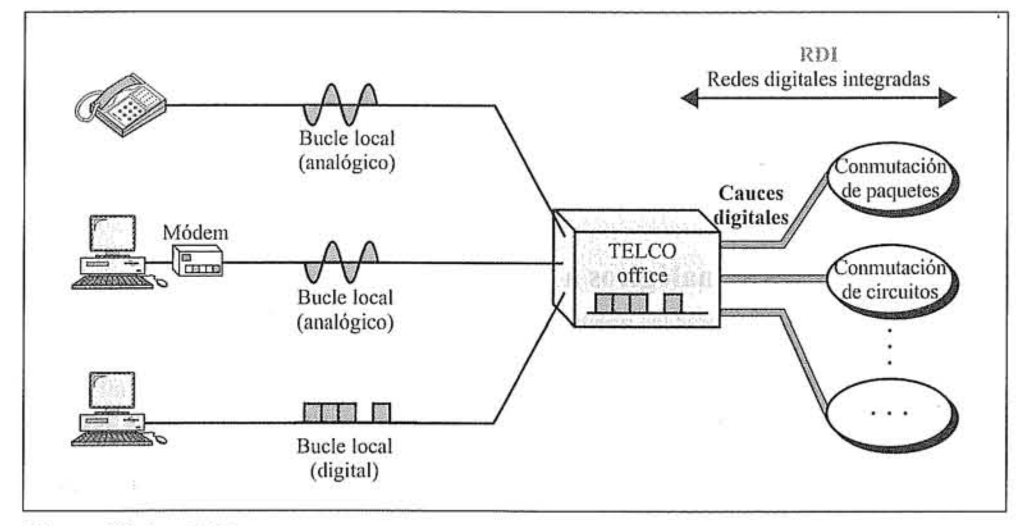


Figura 16.5. *RDI.*

Red digital de servicios integrados (RDSI)

La RDSI integra servicios de cliente con la RDI. Como se vio en el Capítulo 14, cuando se describieron las redes de conmutación de paquetes, los servicios digitales son mucho más eficientes y flexibles que los servicios analógicos. Para obtener el máximo beneficio de las redes digitales integradas, la siguiente etapa fue reemplazar los bucles locales analógicos por bucles de abonados digitales. La transmisión de voz se puede digitalizar en el origen, eliminando por tanto la necesidad de portadoras analógicas. Esto hace posible el envío de datos, voz, imágenes, faxes sobre cualquier red digital. Con la RDSI todos los servicios de los clientes se convertirán en digitales en lugar de analógicos y la flexibilidad ofrecida por la nueva tecnología permitirá que los servicios de los clientes estén disponibles bajo demanda. Más importante aún, la RDSI permite que todas las conexiones de comunicación en una casa o edificio se realicen mediante una única interfaz.

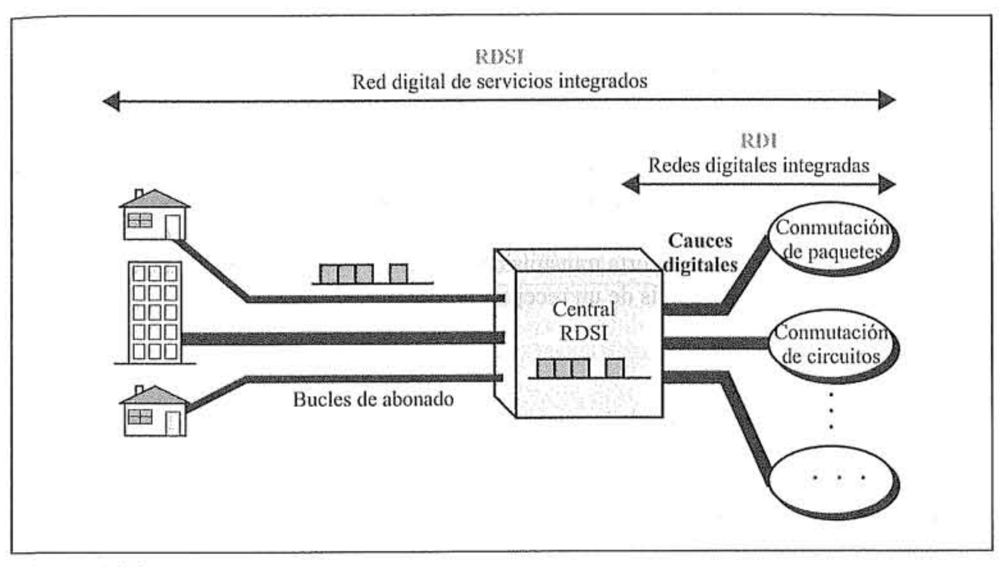


Figura 16.6. *RDSI.*

> La RDSI incorpora todas las conexiones de comunicación en una casa o edificio en una única interfaz.

La Figura 16.6 muestra una visión conceptual de las conexiones entre los usuarios y una central RDSI. Cada usuario se conecta a la central a través de un cauce digital. Estos cauces pueden ser de diferentes capacidades para permitir diferentes velocidades de transmisión y soportar abonados con diferentes necesidades.

16.3. ACCESO DEL ABONADO A LA RDSI

Para ofrecer flexibilidad, los cauces digitales entre los clientes y las centrales RDSI (el bucle del abonado) se organizan en múltiples canales de tamaños diferentes. El estándar de la RDSI define tres tipos de canales, cada uno de ellos con una velocidad de transmisión diferente: canales portadores, canales de datos y canales híbridos (véase la Tabla 16.1).

Tabla 16.1. *Velocidad de los canales*

Canal	*Tasa de datos (Kbps)*
Básico (B)	64
Datos (D)	16,64
Híbridos (H)	384, 1.536, 1.920

Canales B

Un **canal básico (canal B)** se define con una velocidad de 64 Kbps. Es el canal de usuario básico y puede transportar cualquier tipo de información digital en modo full-dúplex siempre que la velocidad de transmisión requerida no exceda de 64 Kbps. Por ejemplo, un canal B se puede utilizar para transportar datos digitales, voz digitalizada y otros tipos de información con velocidades bajas. Se pueden acomodar varias transmisiones a la vez si se multiplexan las señales. Las transmisiones multiplexadas de este tipo, sin embargo, deben destinarse a un único receptor. Un canal B transporta transmisiones extremo a extremo. No está diseñado para la entrega de transmisiones a más de un receptor.

Canales D

Un **canal de datos (canal D)** puede tener una velocidad de 16 o de 64 Kbps, dependiendo de las necesidades de los usuarios. Aunque su nombre incluye la palabra *datos*, la principal función de un canal D es transportar señales de control para los canales B.

Hasta este punto, todos los protocolos de transmisión que hemos examinado utilizan **señalización** en canal (en banda). La información de control (como el establecimiento de la llamada, la llamada, la interrupción de la llamada o la sincronización) es transportada por el mismo canal que transporta los datos del mensaje. La RDSI separa las señales de control en un canal de su propiedad, el canal D. Un canal D transporta las señales de control para todos los canales de un camino dado, utilizando un método denominado **señalización de canal común** (fuera de banda).

En este mecanismo, el abonado utiliza el canal D para conectarse a la red y consigue una conexión a un canal B. El abonado, a continuación, utiliza el canal B para enviar los datos a otro usuario. Todos los dispositivos conectados a un bucle de abonado dado utilizan el mismo canal D para la señalización, pero cada uno envía los datos sobre un canal B dedicado a un único intercambio durante la duración del intercambio. El empleo de un canal D es similar a tener un operador telefónico que realiza una llamada para usted. Usted descuelga el teléfono y le dice al operador que desea realizar una llamada y el número con el que desea contactar. El operador busca una línea libre apropiada a sus necesidades, realiza la llamada y le conecta. El canal D actúa como un operador entre el usuario y la red en el nivel de red.

Usos menos comunes para el canal D incluyen la transferencia de datos a baja velocidad y aplicaciones tales como telemetría y transmisión de alarmas.

Canales H

Los **canales híbridos (canales H)** se encuentran disponibles con velocidades de 384 Kbps (H0), 1.536 Kbps (H11) o 1.920 Kbps (H12). Estas velocidades hacen de los canales H adecuados para aplicaciones que requieren altas velocidades como el vídeo, la teleconferencia y otras aplicaciones de este estilo.

Interfaces de usuario

Los bucles de abonado digital son de dos tipos: interfaz de velocidad básica (BRI, *Basic Rate Interface*) e interfaz de velocidad primaria (PRI, *Primary Rate Interface*). Cada tipo se adecua a las necesidades de diferentes clientes. Ambos incluyen un canal D y algunos canales B o H.

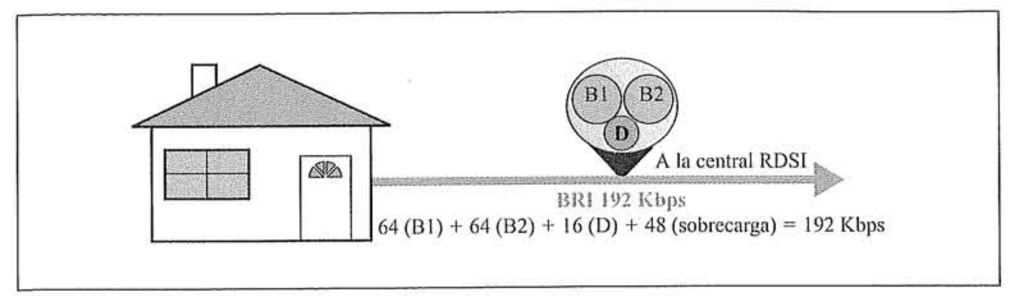


Figura 16.7. *BRI.*

BRI

La **interfaz de velocidad básica** (BRI) especifica un cauce digital que consta de dos canales B y un canal D de 16 Kbps (véase la Figura 16.7).

Dos canales B de 64 Kbps cada uno más un canal D de 16 Kbps da lugar a 144 Kbps. Además, el servicio BRI requiere 48 Kbps de sobrecarga operacional. La interfaz BRI, por tanto, necesita un cauce digital de 192 Kbps. Conceptualmente, el servicio BRI es como un gran cauce que contiene tres cauces más pequeños, dos para los canales B y uno para el canal D. El resto del cauce transporta los bits de sobrecarga requeridos para su funcionamiento. En la Figura 16.7, la sobrecarga se muestra en la porción sombreada del círculo que rodea a los canales B y D.

BRI está diseñada para satisfacer las necesidades de los clientes residenciales y de pequeñas oficinas. En la mayoría de los casos, no hay necesidad de reemplazar el cable del bucle local existente. El mismo bucle local de par trenzado que entrega transmisión analógica se puede utilizar para manejar la transmisión digital. En algunas ocasiones, sin embargo, es necesario algún acondicionamiento de la línea.

PRI

La **interfaz de velocidad primaria** (PRI) especifica un cauce digital con 23 canales B y un canal D de 64 Kbps (véase la Figura 16.8).

23 canales B de 64 Kbps cada uno, más un canal D de 64 Kbps dan lugar a 1,536 Mbps. Además, el servicio PRI utiliza 8 Kbps de sobrecarga. La interfaz PRI, por tanto, requiere un cauce digital de 1,544 Mbps. Conceptualmente, el servicio PRI es similar a un gran cauce que contiene 24 cauces más pequeños, 23 para los canales B y uno para el canal D. El resto del cauce transporta los bits de sobrecarga necesarios para su operación. En la Figura 16.8, se muestra la sobrecarga en la porción sombreada del círculo que rodea a los canales B y D.

Los 23 canales B y el canal D indican el número máximo de canales diferentes que puede contener la interfaz PRI. En otras palabras, una interfaz PRI puede proporcionar transmisión full-dúplex entre 23 nodos origen y destino, como mucho. Las transmisiones individuales se reciben desde sus orígenes y se multiplexan en un único camino (la línea del abonado digital) para enviarlo a la central RDSI.

Los 1,544 Mbps de una interfaz PRI se pueden dividir de otras formas para satisfacer los requisitos de diferentes usuarios. Por ejemplo, una LAN que utiliza una interfaz PRI para conectarse a otras LAN usa todos los 1,544 Mbps para enviar una señal de 1,544 Mbps. Otras

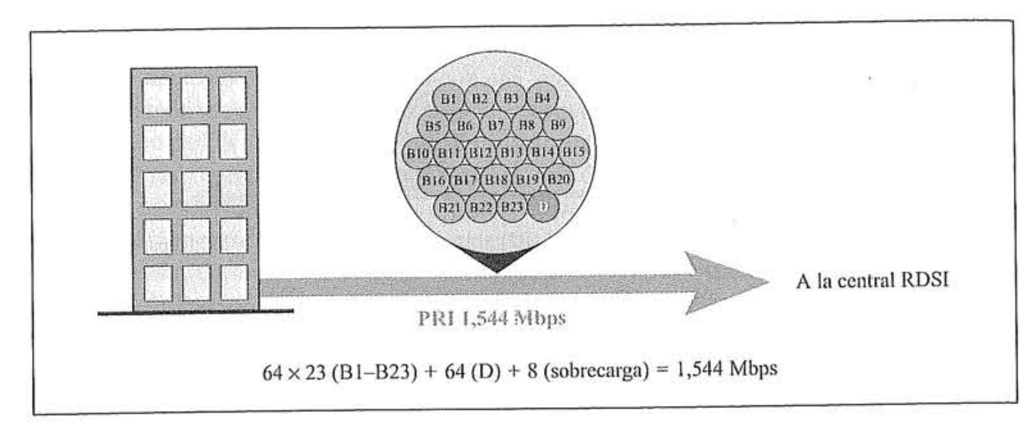


Figura 16.8. *PRI.*

aplicaciones pueden utilizar otras combinaciones de canales B de 64 Kbps. A 1,544 Mbps, la capacidad del cauce digital PRI es exactamente igual a la capacidad de la línea T-1 utilizada para soportar el servicio telefónico DS-1 de Norteamérica. Esta similitud no es una coincidencia. La interfaz PRI se diseñó para que fuera compatible con las líneas T-1 existentes. En Europa, la interfaz PRI incluye 30 canales B y 2 canales D, dando una capacidad de 2,048 Mbps, la capacidad de una línea E-1.

Cuando se necesitan más transmisiones especializadas, el estándar PRI también puede soportar otras combinaciones de canales. Estas son 3H0 + D, 4H0 + D y H12 + D.

Agrupaciones funcionales

En el estándar RDSI, los dispositivos que permiten a los usuarios acceder a los servicios de las interfaces BRI o PRI son descritos por sus servicios funcionales y se disponen en agrupaciones funcionales. Los abonados eligen de estas agrupaciones los dispositivos específicos que mejor se adecuan a sus necesidades. Recuerde que el estándar RDSI define sólo el comportamiento funcional de cada grupo. El estándar no dice nada acerca de la implementación. Cada agrupación funcional es un modelo que puede implementarse utilizando dispositivos o equipos elegidos por el abonado. Las agrupaciones funcionales utilizadas en el lado del abonado incluyen terminaciones de red (tipos 1 y 2), equipos terminales (tipos 1 y 2) y adaptadores de terminales.

Terminación de red 1 (NT1)

Una **terminación de red 1 (NT1)** es un dispositivo que controla las terminación física y eléctrica de los equipos de los usuarios y conecta el sistema interno del usuario al bucle de abonado digital. Estas funciones son comparables a las definidas en el nivel físico del modelo OSI (véase la Figura 16.9).

Una terminación NT1 organiza el flujo de datos del abonado conectado en tramas que pueden enviarse a través del cauce digital, y convierte las tramas recibidas de la red en un formato utilizable por los dispositivos del abonado. A este nivel, realiza las funciones de multiplexación básicas de entrelazado de bytes; sin embargo, no es un multiplexor. Una terminación NT1 sincroniza el flujo de datos con el proceso de construcción de tramas de forma que la multiplexación ocurra automáticamente.

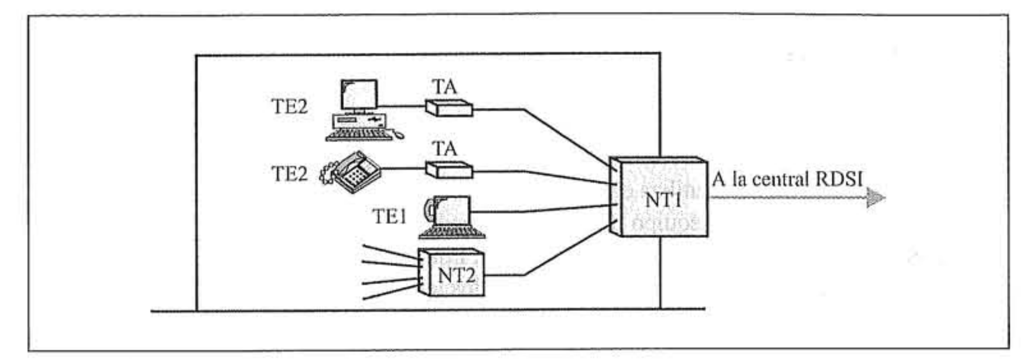


Figura 16.9. *Agrupación funcional.*

La forma más sencilla de visualizar cómo la construcción de una trama en una terminación NT1 puede dar lugar a una señal entrelazada es mediante una analogía. Imagine una planta de fabricación con dos cintas transportadoras. Una de las cintas recibe diversos productos completos desde varias partes del departamento de fabricación y los transporta al departamento de transporte. En el departamento de transporte, esa cinta se junta con cintas que transportan cajas, cada una de las cuales está diseñada para llevar un producto determinado. La cinta que transporta los productos se une con la cinta de las cajas en los ángulos adecuados. Las dos cintas están sincronizadas de forma que cada producto alcance el final de la cinta y caiga en la caja apropiada. El orden de los productos y las cajas, así como la temporización de las dos cintas debe estar controlado para asegurar una sincronización precisa. Las discrepancias pueden dar lugar a que un producto caiga en una caja inadecuada o a que caiga en la cinta sin que haya una caja. Con la sincronización adecuada, sin embargo, el empaquetamiento de los productos se realiza de forma precisa sin conmutación ni otro tipo de manipulación. Del mismo modo, una terminación NT1 sincroniza la temporización de los flujos de datos para construir las tramas salientes, de forma que los bytes se entrelazan sin necesidad de dispositivos de multiplexación.

Terminación de red 2 (NT2)

Una **terminación de red 2 (NT2)** es un dispositivo que realiza funciones de los niveles físicos, de enlace de datos y de red del modelo OSI (niveles 1, 2 y 3). La NT2 ofrece multiplexación (nivel 1), control de flujo (nivel 2) y empaquetamiento (nivel 3). Una terminación NT2 realiza un procesamiento intermedio de la señal entre los dispositivos que generan los datos y la terminación NT1. Se necesita la terminación NT1 para ofrecer la interfaz física con la red. Debe haber una conexión punto a punto entre la terminación NT2 y la terminación NT1. Las terminaciones NT2 se utilizan fundamentalmente como interfaz entre un sistema multiusuario y una terminación NT1 en una interfaz PRI (véase la Figura 16.9).

Las terminaciones NT2 se pueden implementar con diferentes tipos de equipos. Por ejemplo, una **centralita telefónica privada** (PBX) puede ser una terminación NT2. Coordina las transmisiones de varios enlaces entrantes (líneas telefónicas de los usuarios) y las multiplexa para que se puedan transmitir a través de la terminación NT1. Una LAN también puede funcionar como un NT2.

Si una interfaz PRI transporta señales de diversos dispositivos, estas señales deben multiplexarse en un proceso diferente ofrecido por la terminación NT2, antes de que la señal com-

puesta pase a la terminación NT1 para su transmisión por la red. Esta multiplexación es explícita. Una PBX digital es un ejemplo de terminación NT2 que contiene funciones de multiplexación explícitas.

Equipo terminal de tipo 1 (TE1)

El término *equipo terminal* se utiliza en el estándar RDSI para indicar lo mismo que un DTE en otros protocolos. Se refiere al equipo digital del abonado. El **equipo terminal de tipo 1** (TE1) es cualquier dispositivo que admite el estándar RDSI. Equipos de este tipo incluyen los teléfonos digitales, los terminales integrados de voz y datos y los telefax digitales (véase la Figura 16.9).

Equipo terminal de tipo 2 (TE2)

Para ofrecer compatibilidad hacia atrás con los equipos ya existentes, el estándar RDSI define un segundo nivel de equipo terminal denominado **equipo terminal de tipo 2** (TE2). Este equipo es cualquier dispositivo no RDSI, como un terminal, una estación de trabajo, un computador o un teléfono convencional. Los dispositivos TE2 no son compatibles de forma inmediata con una RDSI, pero pueden utilizarse con la ayuda de otro dispositivo denominado **adaptador de terminal** (TA) (véase la Figura 16.9).

Adaptador de terminal (TA)

Un adaptador de terminal (TA) convierte la información recibida de un equipo terminal de tipo 2 en formato no RDSI a un formato capaz de ser transmitido por una RDSI (véase la Figura 16.9).

Puntos de referencia

El término *punto de referencia* se refiere aquí a la etiqueta utilizada para identificar las interfaces individuales entre dos elementos de una instalación RDSI. De la misma forma que las agrupaciones funcionales definen las funciones de cada tipo de equipo utilizado en la RDSI, un punto de referencia define las funciones de las conexiones entre ellos. De forma más específica, un punto de referencia define la forma en la que dos elementos de la red deben conectarse y el formato del tráfico entre ellos. Sólo se mencionan aquí los puntos de referencia que definen las interfaces entre un equipo de abonado y la red: puntos de referencia R, S, T y U (véase la Figura 16.10). Existen otros puntos de referencia que definen funciones dentro de la RDSI.

El **punto de referencia R** define la conexión entre un TE2 y un TA. El **punto de referencia S** define la conexión entre un TE1 y un TA y una terminación NT1 o NT2 (si está presente). El **punto de referencia T** define la interfaz entre una terminación NT2 y una NT1. Finalmente, el **punto de referencia U** define la interfaz entre una terminación NT1 y la central RDSI. La Figura 16.10 muestra estos puntos de referencia cuando se aplican a diferentes escenarios. La especificaciones de cada uno de estos puntos de referencia se describirán a medida que se exploren los diferentes niveles de la RDSI que se presentan en la siguiente sección de este capítulo.

16.4. NIVELES DE LA RDSI

Es difícil aplicar la arquitectura de siete niveles del protocolo OSI a la RDSI. Una razón es que RDSI especifica dos canales diferentes (B y D) con funcionalidades diferentes. Como se

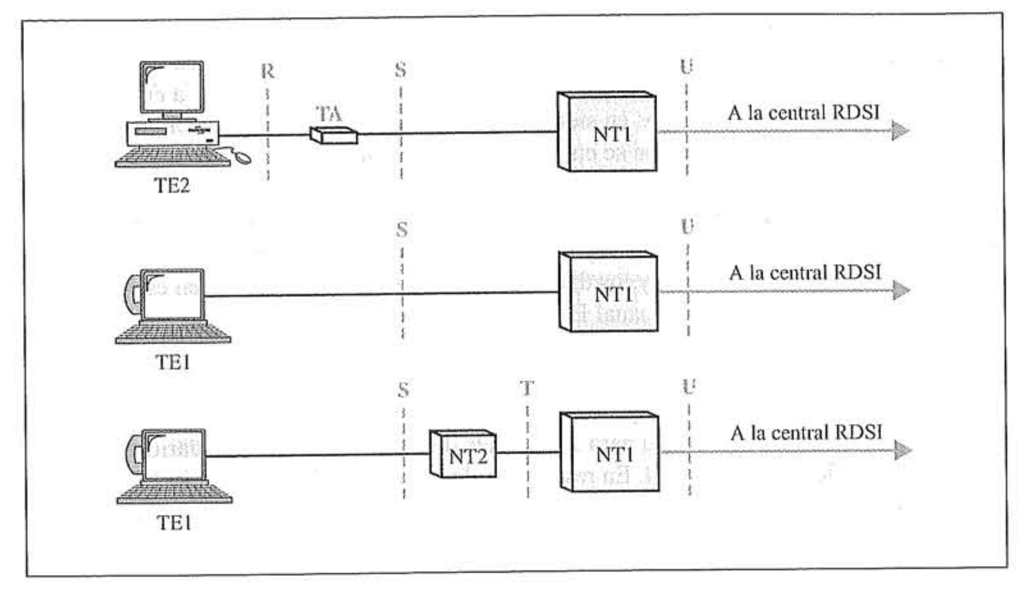


Figura 16.10. *Puntos de referencia.*

vio anteriormente en este capítulo, los canales B se utilizan para comunicación entre usuarios (intercambio de información). Los canales D se utilizan fundamentalmente para la señalización entre el usuario y la red. El abonado utiliza el canal D para conectarse a la red y el canal B para enviar información a otro usuario. Estas dos funciones requieren diferentes protocolos de los niveles OSI. La red RDSI también difiere del estándar OSI en sus necesidades de gestión. Una consideración fundamental de la red RDSI es la integración global. Asegurar la flexibilidad requerida para mantener la red verdaderamente integrada utilizando servicios públicos requiere una gran capacidad de gestión.

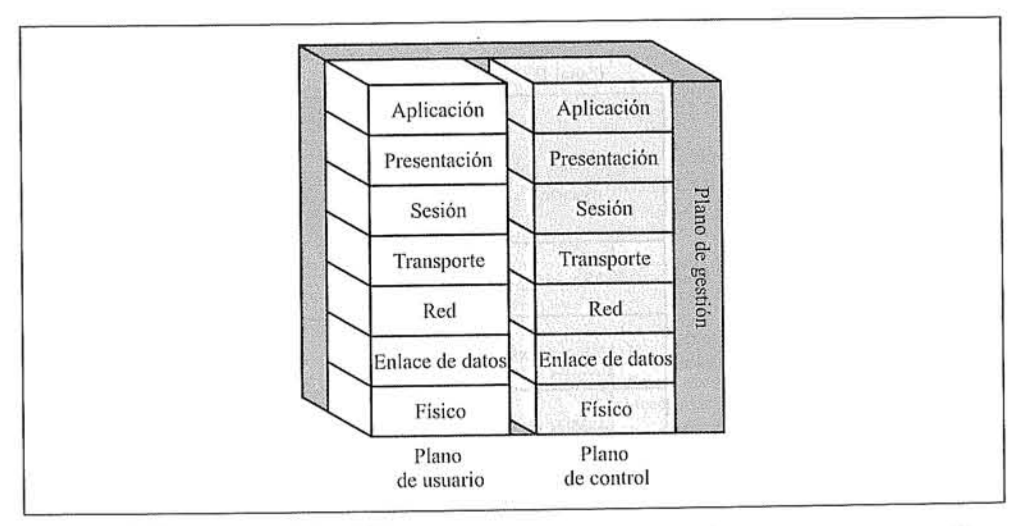


Figura 16.11. *Niveles de la RDSI.*

Por estas razones, la ITU-T ha ideado un modelo expandido para los niveles de la RDSI. En lugar de una arquitectura de siete niveles como el OSI, la red RDSI está definida en tres planos diferentes: el **plano de usuario**, el **plano de control** y el **plano de gestión** (véase la Figura 16.11).

Los tres planos están divididos en siete niveles que se corresponden con el modelo OSI. La descripción del plano de gestión se encuentra fuera del ámbito de este libro; los otros dos planos se describen a continuación.

La Figura 16.12 muestra una versión simplificada de la arquitectura RDSI para los planos del usuario y de control (canales B y D). En el nivel físico, los canales B y D son iguales. Utilizan las interfaces BRI o PRI y los dispositivos descritos anteriormente en este capítulo. En el nivel de enlace de datos, el canal B utiliza el protocolo LAPB, o alguna versión de él, descrito en el Capítulo 11. En el nivel de red, el canal B tiene muchas opciones. Los canales B (y canales D que actúan como canales B) pueden conectarse a redes de conmutación de circuitos, redes de conmutación de paquetes (X.25), redes Frame Relay y redes ATM entre otras. Las opciones del plano de usuario para los niveles del 4 al 7 se dejan al usuario y no están definidas específicamente en RDSI. En resumen, sólo se necesita describir el nivel físico compartido por los canales B y D y los niveles segundo y tercero del canal D estándar.

Nivel físico

Las especificaciones del nivel físico de la RDSI están definidas en dos estándares de la ITU-T: **I.430** para acceso con la interfaz BRI e **I.431** para acceso con la interfaz PRI. Estos estándares definen todos los aspectos de las interfaces BRI y PRI. De estos aspectos, cuatros son los de principal importancia:

- Las especificaciones eléctricas y mecánicas de las interfaces R, S, T y U.
- La codificación.
- La multiplexación de canales para que sean transportables por los cauces digitales PRI y BRI.
- Alimentación.

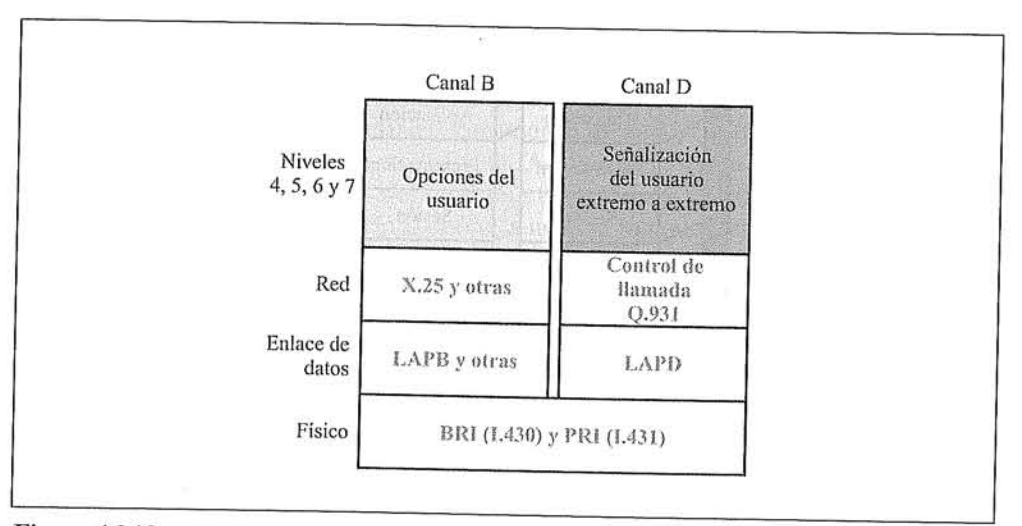


Figura 16.12. *Niveles simplificados de la RDSI.*

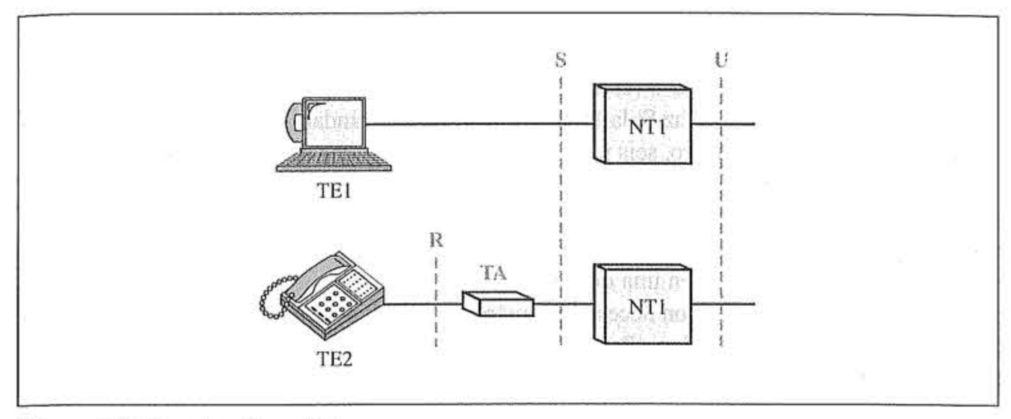


Figura 16.13. *Interfaces BRI.*

Especificaciones del nivel físico para la interfaz BRI

Como recordará, una interfaz BRI consta de dos canales B y un canal D. Un abonado se conecta a la interfaz BRI utilizando las interfaces R, S y U (puntos de referencia). Véase la Figura 16.13.

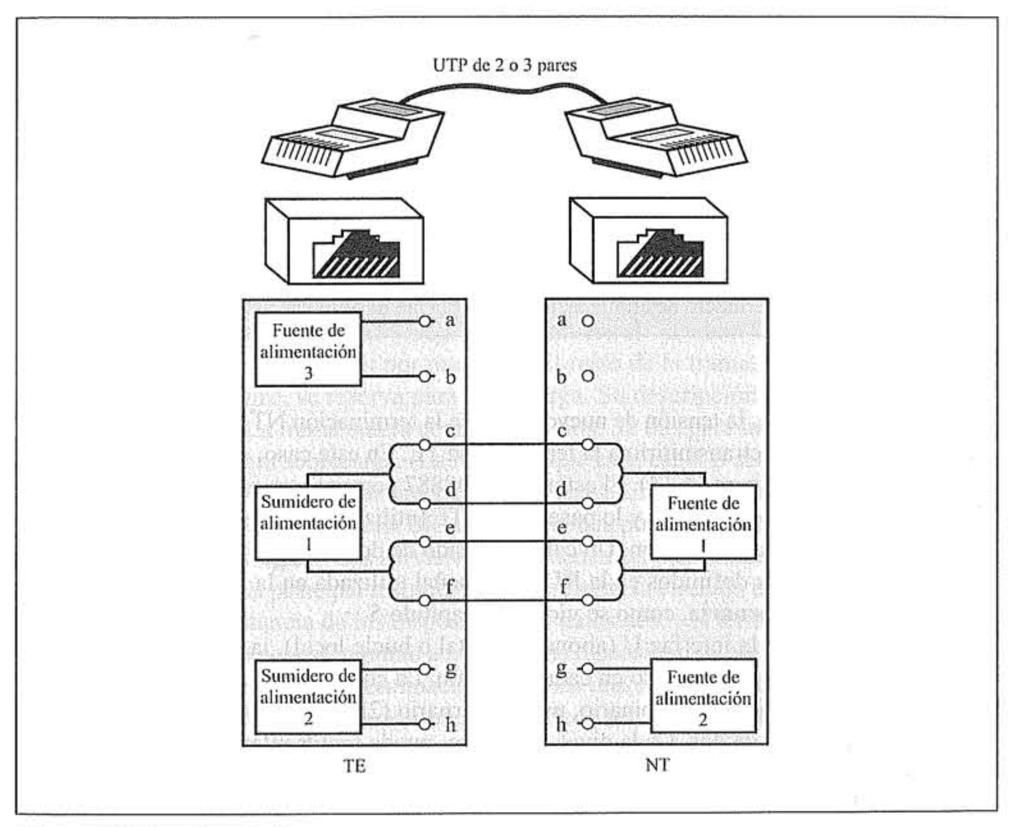


Figura 16.14. *Interfaz S.*

Interfaz R La interfaz R no está definida en la RDSI. Un abonado puede utilizar cualquiera de los estándares de la EIA (como el EIA-232, EIA-499 o el EIA-530) o cualquiera de los estándares de las series X o V (como X.21).

Interfaz S Para la interfaz S, la ITU-T especifica el estándar ISO, ISO8887. Este estándar utiliza conexiones de cuatro, seis u ocho cables. (Se necesitan al menos cuatro cables para soportar comunicación full-dúplex sobre cada canal B o D). En la Figura 16.14 se muestran los conectores y enchufes para estas conexiones, junto con las especificaciones eléctricas para cada cable.

Los cables individuales en una conexión con interfaz S se encuentran organizados de acuerdo a la Tabla 16.2. Sólo son necesarios cuatro de los cables para una transmisión de datos balanceada en modo full-dúplex. (Para una descripción de la transmisión balanceada, véase la sección sobre la interfaz X.21 en el Capítulo 6.) Los otros suministran la tensión a las terminaciones NT1 y TE. El estándar ofrece tres métodos para suministrar la tensión. En el primero, el terminado NT1 es el que lo proporciona. La tensión voltaje puede venir de batería o de una toma de corriente, o bien puede venir desde el centro RDSI hasta la terminación NT1. En este caso, sólo se necesitan cuatro conexiones para conectar la terminación TE y la terminación NT1 (cables c, d, e y f de la Figura 16.14).

Tabla 16.2. *Patillas de la interfaz*

Nombre	*TE*	*NT1*
a	Fuente de alimentación 3	Sumidero de alimentación 3
b	Fuente de alimentación 3	Sumidero de alimentación 3
c	Trasmitir	Recibir
d	Recibir	Transmitir
e	Recibir	Transmitir
f	Transmitir	Recibir
g	Sumidero de alimentación 2	Fuente de alimentación 2
h	Sumidero de alimentación 2	Fuente de alimentación 2

En el segundo caso, la tensión de nuevo viene de la terminación NT1, pero se utilizan dos líneas diferentes para retransmitirlo a la terminación TE. En este caso, se utilizan seis cables (c, d, e, f, g y h de la Figura 16.14). El estándar ISO8887 permite otra posibilidad: que la terminación TE suministre el voltaje y lo pase a otros TE (utilizando los cables a y b). La RDSI, sin embargo, no utiliza esta versión. Un cable trenzado de dos o tres cables es adecuado para soportar todos los usos definidos en la RDSI. La señal utilizada en la interfaz S utiliza una **codificación pseudoternaria,** como se vio en el Capítulo 5.

Interfaz U Para la interfaz U (abonado digital o bucle local), la ITU-T especifica un único par de cables de par trenzado en cada dirección. La codificación para esta interfaz utiliza un método denominado dos binario, uno cuaternario (2B1Q). 2B1Q utiliza cuatro niveles de voltaje en lugar de dos. Cada nivel, por tanto, puede representar dos bits en lugar de uno, reduciendo por tanto la tasa de baudios y permitiendo un uso más eficiente del ancho de banda disponible (véase la Figura 16.15). Los cuatro niveles de voltaje representan los siguientes valores binarios 00, 01, 10 y 11.

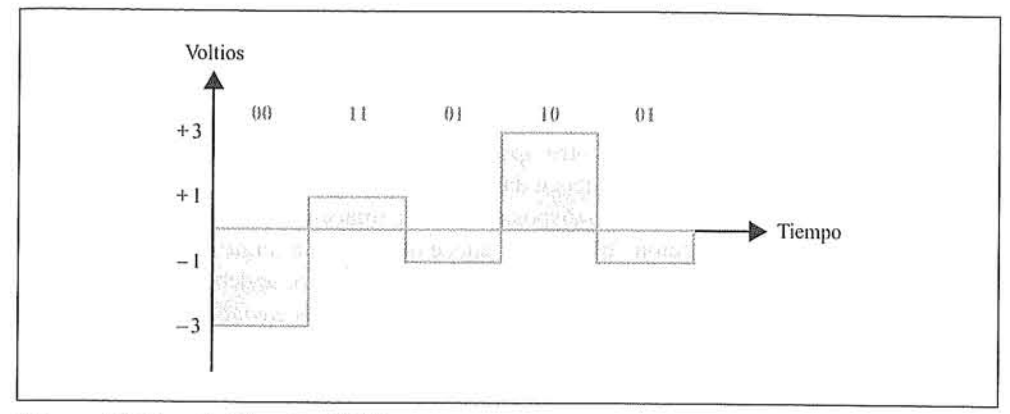


Figura 16.15. *Codificación 2B1Q.*

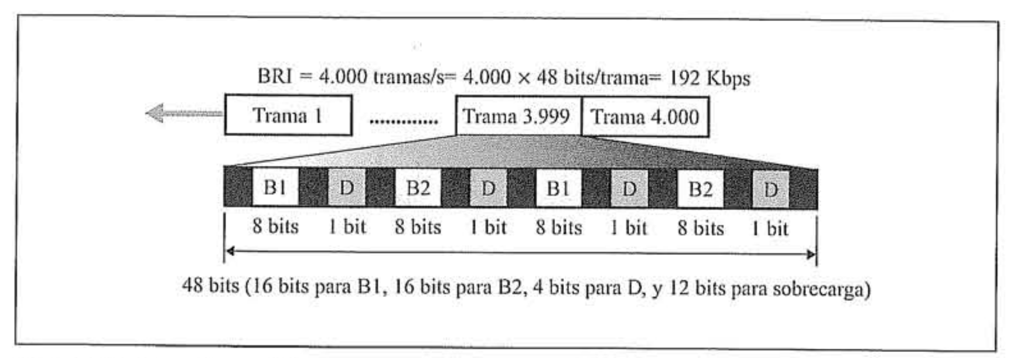


Figura 16.16. *Trama BRI.*

Trama BRI La Figura 16.16 muestra el formato de una trama BRI. Cada canal se muestrea dos veces durante cada trama (ocho bits por muestra). El canal D es muestreado cuatro veces durante cada trama (un bit por muestra). El resto de la trama, mostrado en la Figura como espacios en negro, se reserva para sobrecarga. Su descripción se encuentra fuera del ámbito de este libro. La trama entera consta de 48 bits: 32 bits para los canales B, 4 bits para el canal D y 12 bits para sobrecarga. (La razón de que cada canal B sea muestreado dos veces y el canal D cuatro veces es crear una trama más larga. Como se verá en el Capítulo 19, 48 bits hacen que el tamaño de la trama BRI coincida con la porción de datos de una celda ATM.)

Conexión y topología Los servicios BRI pueden ser suministrados con una topología en bus o en estrella. La principal restricción que gobierna la elección de la topología para una interfaz BRI es la distancia de los dispositivos de datos desde la terminación NT1 (véase la Figura 16.17). En una conexión punto a punto, cada dispositivo puede estar situado hasta una distancia de 1.000 metros de la terminación NT1. En una conexión multipunto, sin embargo, la longitud máxima de la línea generalmente no puede ser mayor de 200 metros. Esta restricción es necesaria para asegurar la sincronización de las tramas.

Como ya se vio anteriormente en este capítulo, la terminación NT1 entrelaza las salidas de los dispositivos conectados como parte del proceso de construcción de tramas. El resultado de esta multiplexación implícita es evidente en la estructura de la trama. Para que esta

multiplexación implícita sea posible, las funciones de construcción de tramas de la terminación NT1 deben temporizarse para que se coordinen de forma precisa con los datos que llegan de los dispositivos conectados. Si la sincronización entre la trama y los dispositivos no es correcta, los datos enviados por un dispositivo pueden acabar estando en una trama correspondiente a otro dispositivo, o junto a otro tipo de información. Los inevitables retardos en la propagación debido a la distancia pueden dar lugar a un desplazamiento de las tramas. Si la distancia entre el primer y el último dispositivo de un enlace es suficientemente grande, la temporización en la recolección de los datos puede deteriorar la trama.

Para asegurar la corrección de las tramas en enlaces multipunto, se debe limitar el impacto de las variaciones de temporización entre las unidades de datos enviadas por cada dispositivo. Esto se hace limitando la distancia del enlace entre los dispositivos. En general, esto significa restringir la longitud total del enlace a 200 metros, como se indicó anteriormente. Sin embargo, si se agrupan los dispositivos al final del enlace lo más lejos de la terminación NT1, se puede extender la longitud del enlace a 500 metros. La agrupación de dispositivos significa que los retardos en la propagación afectarán a los datos de todos los dispositivos casi por igual, permitiendo que las relaciones entre las unidades sean predecibles para 500 metros. Si solo se conecta un dispositivo al enlace, la terminación NT1 no necesita distinguir entre datos de diferentes dispositivos tolerando, de esta forma, mayores distorsiones en la temporización. Los enlaces con topología en estrella pueden tener hasta 1.000 metros de longitud (véase la Figura 16.17).

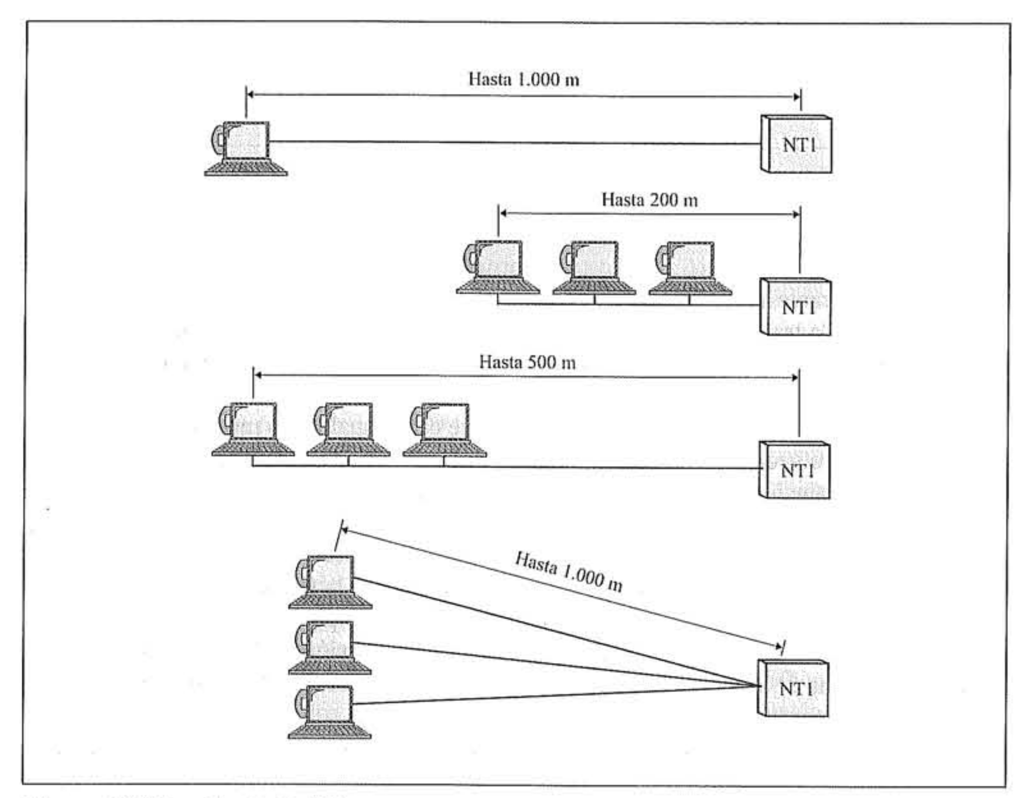


Figura 16.17. *Topología BRI.*

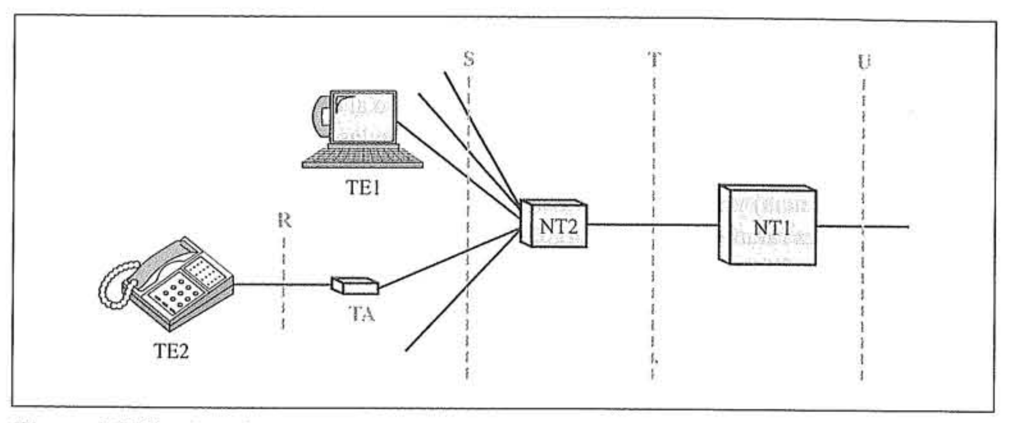


Figura 16.18. *Interfaces PRI.*

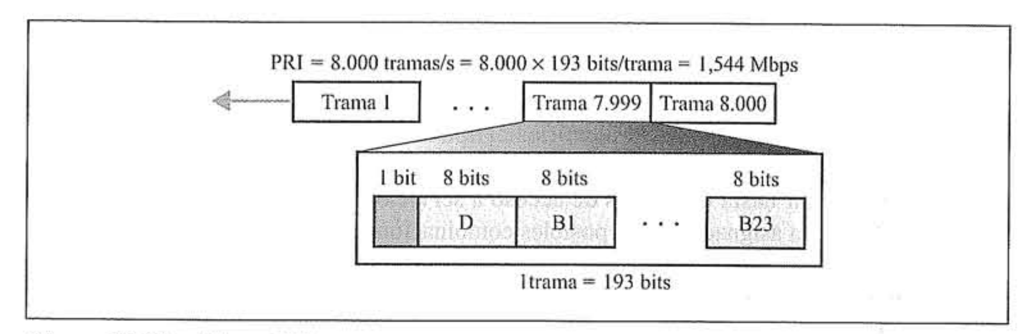


Figura 16.19. *Trama PRI.*

Especificaciones del nivel físico para la interfaz PRI

Como recordará, la interfaz PRI consta de 23 canales B y un canal D. Las interfaces asociadas con el uso de la interfaz PRI incluyen las interfaces R, S, T y U.

Los estándares R y S son los mismos que los definidos para la interfaz BRI. El estándar T es idéntico al estándar S con la sustitución de codificación B8ZS. La interfaz U es la misma para ambos estándares excepto que la velocidad de la interfaz PRI es de 1,544 Mbps en lugar de 192 Kbps: 1,544 Mbps permite a la interfaz PRI ser implementada utilizando las especificaciones T-1 (véase el Capítulo 8).

Trama PRI Los canales B y D se multiplexan utilizando TDM síncrono para crear una trama PRI. El formato de la trama es idéntico al definido para las línea T-1. Por conveniencia, se muestra de nuevo el formato de esta trama en la Figura 16.19. Observe que la trama ORI muestrea cada canal, incluyendo el canal D, sólo una vez por trama.

Conexión y topología Las consideraciones sobre la conexión y topología para enlazar dispositivos que generan datos a una terminación NT2 pueden ser las mismas que las descritas para los enlaces dispositivo a terminación NT1 en la interfaz BRI, o pueden ser diferentes. La implementación específica depende de la aplicación. Si la terminación NT2 es una LAN, su topología será especificada por la LAN que esté siendo utilizada; si la terminación NT2 es un PBX, su topología será especificada por el PBX que se utilice, y así sucesivamente. El enlace entre la terminación NT2 y el NT1, sin embargo, debe ser siempre punto a punto.

Nivel de enlace de datos

Los canales B y D utilizan diferentes protocolos de enlace de datos. Los canales B utilizan el protocolo LAPB. El canal D usa un procedimiento de acceso al enlace para el canal D (LAPD). LAPD es HDLC con unas cuantas modificaciones, dos de las cuales requieren una explicación adicional. En primer lugar, LAPD se puede utilizar en formatos con confirmación (con números de secuencia) y sin confirmación (sin números de secuencia). El formato sin confirmación se utiliza raramente, sin embargo, en la práctica general LAPD y HDLC son semejantes. La segunda diferencia es el direccionamiento.

Direccionamiento en LAPD

El campo de dirección del protocolo LAPD consta de dos bytes (véase la Figura 16.20). El primer byte contiene un campo de seis bits denominado **identificador de punto de acceso a servicio (SAPI);** un campo de un bit de orden/respuesta puesto a 0 si la trama es una orden y a 1 si la trama es una respuesta; y un campo de un bit puesto a 0 para indicar que la dirección continúa en el siguiente byte (véase HDLC, Capítulo 11).

El segundo byte contiene un campo de siete bits denominado **identificador de equipo terminal (TEI)** y un campo de un bit puesto a 1 para indicar que la dirección está completa.

Campo SAPI El campo SAPI identifica el tipo de servicio de nivel superior (nivel de red) que utiliza la trama. Indica el uso que se hace del canal D. Es un campo de seis bits y puede, por tanto, definir hasta 64 puntos de acceso a servicios diferentes. Hasta la fecha, sin embargo, sólo se han asignado cuatro posibles combinaciones de bits:

- **000000.** Control de llamada para el nivel de red (la señalización hace uso del canal D).
- **000001.** Control de llamada para el nivel superior (señalización extremo a extremo), no está en uso todavía.
- **010000.** Comunicación de paquetes (los datos hacen uso del canal D).
- **111111.** Gestión.

Campo TEI El capo TEI es una dirección única del TE. Consta de siete bits y puede, por tanto, identificar hasta 128 TE diferentes.

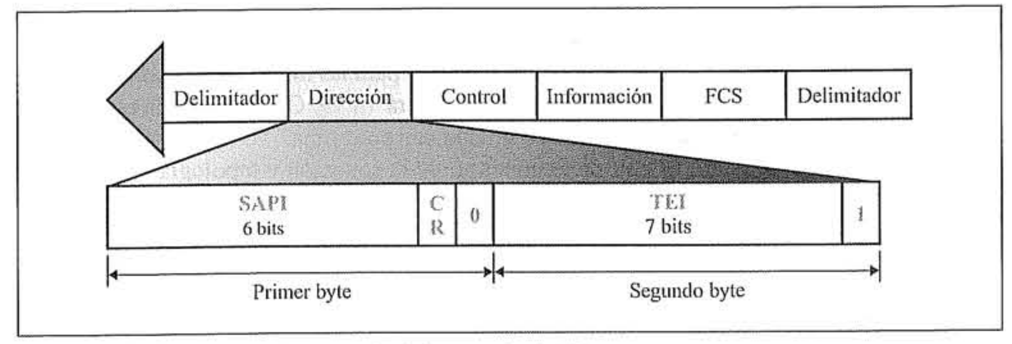


Figura 16.20. *Campo de dirección del protocolo LAPD.*

Nivel de red

Una vez que la conexión ha sido establecida por el canal D, el canal B envía los datos utilizando conmutación de circuitos, X.25 u otros protocolos similares. Las funciones del nivel de red de un canal D, sin embargo, deben describirse aquí. Estas funciones están definidas por el estándar **Q.931** de la ITU-T.

El paquete del nivel de red se denomina **mensaje.** Un mensaje se encapsula en el campo de información de una trama I del protocolo LAPD para su transporte a través del enlace (véase la Figura 16.21).

El formato del mensaje en este nivel consta de un pequeño pero variable número de campos. Estos campos pueden ser de cuatro tipos:

- Discriminante del protocolo (un campo de un solo byte).
- Referencia de llamada (un campo de dos o tres bytes).
- Tipo de mensaje (un campo de un solo byte).
- Elementos de información (un número variable de campos de longitud variable).

Discriminador del protocolo

Este campo identifica el protocolo en uso. Para Q.931, el valor de este campo es 00001000.

Referencia de llamada

La referencia de llamada es el número de secuencia de la llamada. El formato de este campo se muestra en la Figura 16.22.

Tipo de mensaje

El tipo de mensaje es un campo de un byte que identifica el objetivo del mensaje. Hay cuatro categorías de tipos de mensajes: mensajes de establecimiento de llamada, mensajes de información de llamada, mensajes de liberación de llamada y mensajes misceláneos. Los mensajes disponibles se describen a continuación.

Mensajes de establecimiento de llamada Los mensajes de establecimiento de llamada son los siguientes:

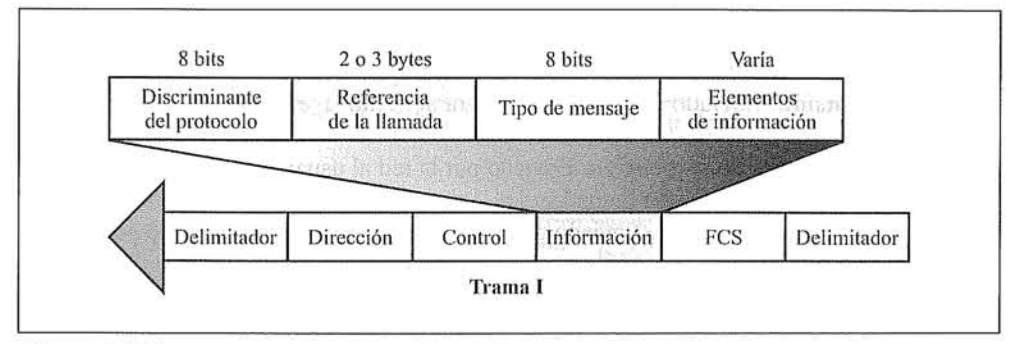


Figura 16.21. *Formato del paquete del nivel de red.*

Figura 16.22. *Campo de referencia de llamada.*

- **Establecimiento.** Enviado por el usuario que realiza la llamada a la red o por la red al usuario llamado para iniciar la llamada.
- **Confirmación de establecimiento.** Enviado por el usuario llamado a la red o por la red al usuario que realiza la llamada para indicar que se ha recibido el establecimiento. Este mensaje no significa que la conexión haya tenido lugar (se puede requerir más información), solamente que el proceso deseado ha comenzado.
- **Conectar.** Enviado por el usuario llamada a la red o por la red al usuario que realiza la llamada para indicar la aceptación de la llamada.
- **Confirmación de conexión.** Enviado por la red al usuario llamado para indicarle que la conexión deseada ha sido concedida.
- **Progreso.** Enviado por la red al usuario llamado para indicarle que el establecimiento de la llamada está en progreso. Este mensaje funciona como una petición de «por favor, espere» en caso de que el proceso de establecimiento de la llamada necesite más tiempo.
- **Aviso.** Enviado por el usuario llamado a la red o por la red al usuario que realiza la llamada para indicarle que el aviso al usuario (llamada) ha sido iniciada.
- **Procesamiento de la llamada.** Enviado por el usuario llamado a la red o por la red al usuario que realiza la llamada para indicarle que el establecimiento de llamada solicitado ha sido iniciado y que no se necesita más información.

Mensajes de información de llamada Los mensajes de información de llamada son los siguientes:

- **Reanudación.** Enviado por un usuario a la red para solicitar que una llamada suspendida sea reanudada.
- **Confirmación de reanudación.** Enviado por la red al usuario para confirmar una petición de reanudación de llamada.
- **Suspensión.** Enviado por un usuario para solicitar que la red suspenda una llamada.
- **Confirmación de suspensión.** Enviado por la red al usuario para confirmar la suspensión solicitada de una llamada.
- **Rechazo de suspensión.** Enviado por la red al usuario para rechazar una petición de suspensión.
- **Información de usuario.** Enviado por un usuario a la red para que sea entregada a un usuario remoto. Este mensaje permite al usuario enviar información utilizando señalización fuera de banda.

Mensajes de liberación de llamada Los mensajes de liberación de llamada son los siguientes:

- **Desconexión.** Enviado por el usuario que realiza la llamada a la red o por la red al usuario llamado para liberar la conexión extremo a extremo (terminación).
- **Liberación.** Enviado por un usuario a la red para indicar la intención de desconectar y liberar el canal.
- **Liberación completada.** Enviado por un usuario o red para mostrar que el canal ha sido liberado.

Misceláneos Otros mensajes transportan información definida en los protocolos de servicios específicos. Estos mensajes no se utilizan en una comunicación normal y su descripción se encuentra fuera del ámbito de este libro.

Elementos de información

Un campo de elementos de información transporta detalles específicos sobre la conexión que son requeridos para el establecimiento de la llamada; por ejemplo, las direcciones del emisor y del receptor (descritas a continuación), información de encaminamiento y el tipo de red que se desea para el canal B (como conmutación de circuitos, X.25, ATM o Frame Relay); véase la Figura 16.23. Los detalles de los últimos elementos son complejos y se encuentran fuera del ámbito de este libro.

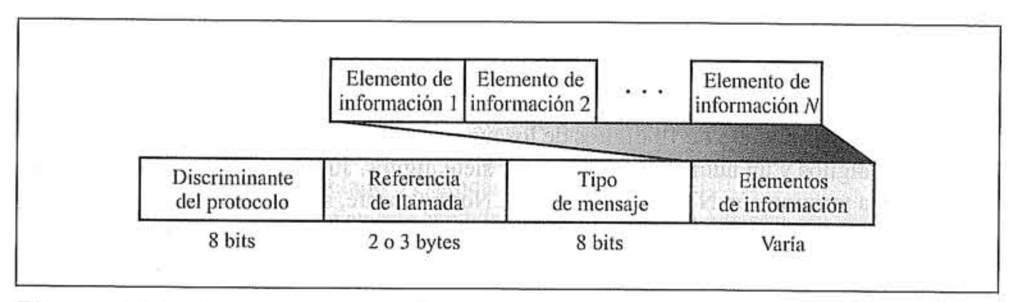


Figura 16.23. *Elementos de información.*

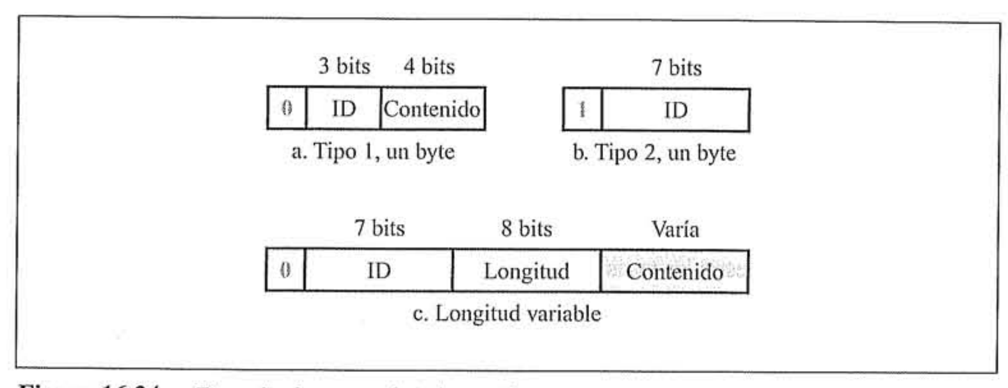


Figura 16.24. *Tipos de elementos de información.*

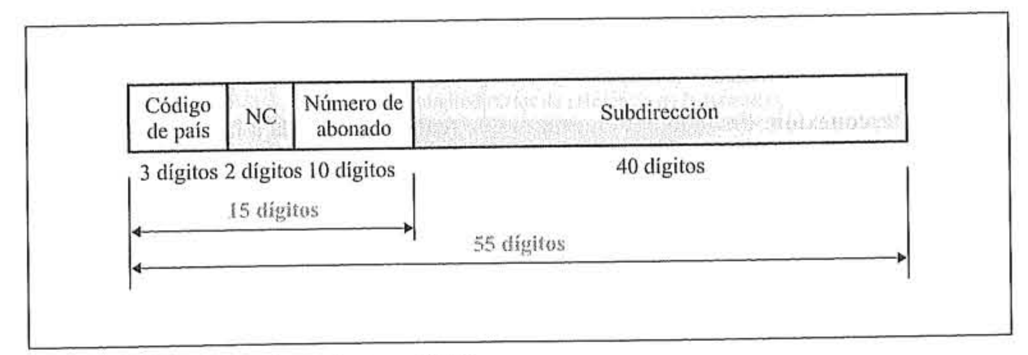


Figura 16.25. *Direccionamiento en RDSI.*

Tipos de elementos de información Un **elemento de información** consta de uno o más bytes. Un elemento de información de un byte puede ser de tipo 1 o de tipo 2. En el tipo 1, el primer bit es 0, los tres siguientes bits identifican la información que se está enviando y los cuatro bits restantes transportan el contenido específico o atributo del elemento. Los elementos de tipo 2 comienza con un bit a 1. El resto del byte está reservado para el identificador (ID). En elementos de información con varios bytes, el primer bit del primer byte es 0 y el resto del byte es el identificador (ID). El segundo byte define la longitud del contenido en bytes. Los bytes restantes son contenido (véase la Figura 16.24).

Direccionamiento Un tipo importante de elemento de información es el direccionamiento. La RDSI recomienda un sistema de direccionamiento basado en el formato de la Figura 16.25.

El código del país consta de tres dígitos. El campo NC es el código nacional y consta de dos dígitos. Identifica la red concreta en países con más de una red RDSI. El número de abonado es el familiar número de 10 dígitos de los números de teléfono nacionales: un código de área de tres dígitos y un número de teléfono de siete dígitos. Juntos, estos 15 dígitos definen el acceso a la terminación NT1 de un abonado. Normalmente, sin embargo, una terminación NT1 determinada puede tener varios dispositivos conectados a ella, directa o indirectamente, a través de una terminación NT2. En estas situaciones, cada dispositivo se identifica mediante una subdirección. RDSI permite hasta 40 dígitos para una subdirección.

16.5. RDSI DE BANDA ANCHA

Cuando se diseñó la RDSI, las velocidades de 64 Kbps a 1,544 Mbps eran suficientes para todas las necesidades de transmisión existentes. No obstante, para las aplicaciones que utilizan las redes de telecomunicaciones avanzadas, estas velocidades se demostraron inadecuadas para soportar muchas aplicaciones. Además, los anchos de banda iniciales eran muy pequeños para transportar un gran número de señales concurrentes producidas por una industria en crecimiento de proveedores de servicios digitales.

La Figura 16.26 muestra las tasas de bits requeridas por varias aplicaciones. Como se puede observar, algunas exceden las capacidades de las interfaces BRI y PRI.

Para satisfacer las necesidades de la siguiente generación de tecnología, se encuentra en estudio una ampliación de la RDSI, denominada **RDSI de banda ancha** (RDSI-BA). La red RDSI original se conoce como RDSI de banda estrecha (RDSI-BE). La red RDSI-BA ofrece

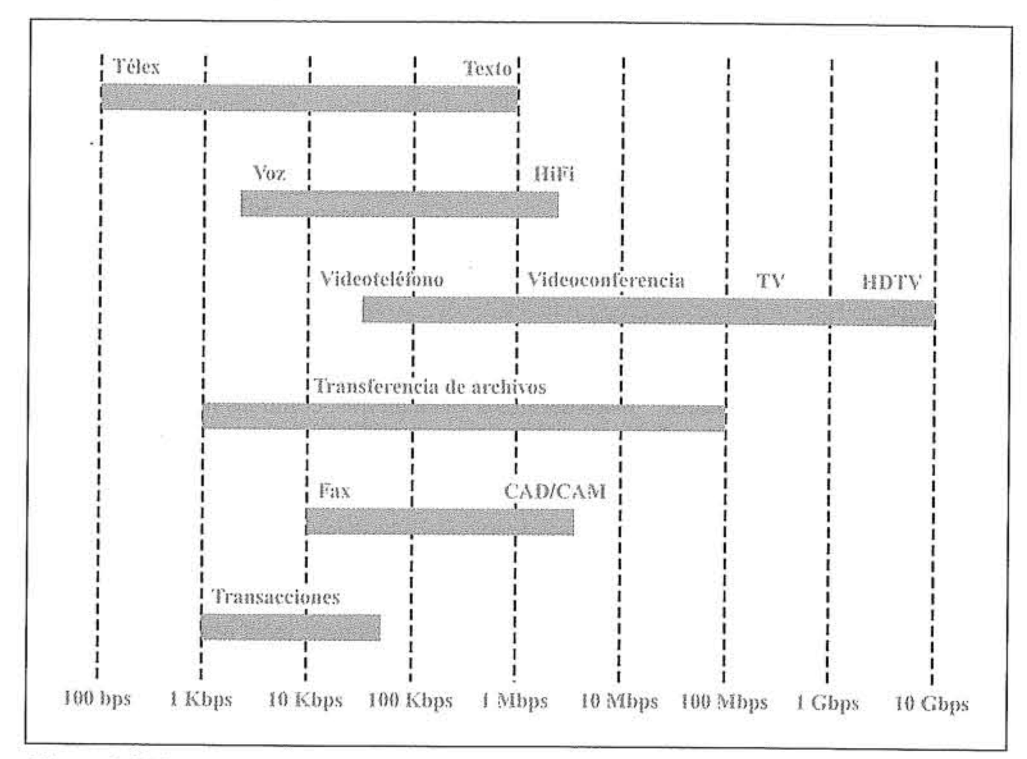


Figura 16.26. *Tasas de bits de varias aplicaciones.*

a los abonados de la red velocidades en el rango de los 600 Mbps, casi 400 veces mayores que la velocidad de la interfaz PRI. Existe tecnología para soportar velocidades mayores; sin embargo, todavía no se ha implementado o estandarizado.

Como se vio anteriormente en este capítulo, la RDSI de banda estrecha, sin embargo, representa un resultado de la evolución lógica del sistema telefónico. La RDSI de banda ancha, no obstante, representa una revolución, puesto que altera radicalmente todos los aspectos de la comunicación. La red RDSI de banda ancha está basada en un cambio del cable metálico por un cable de fibra óptica en todos los niveles de las telecomunicaciones. Sólo necesita comprobar los cables telefónicos utilizados en su vecindad para saber que esta revolución todavía no se ha llevado a cabo a gran escala. La mayoría del desarrollo e investigación actual en el campo de las telecomunicaciones y las redes, sin embargo, está centrada en hacer realidad esta revolución.

Servicios

La red RDSI de banda ancha ofrece dos tipos de servicios: interactivos y distribuidos (véase la Figura 16.27).

Servicios interactivos

Los **servicios interactivos** son aquellos que requieren intercambio en dos direcciones entre dos abonados o entre un abonado y un proveedor de servicios. Estos servicios son de tres tipos: conversacionales, de mensajes y de recuperación.

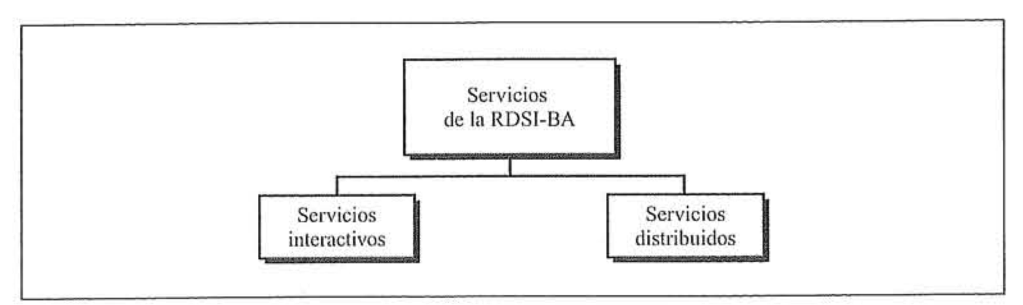


Figura 16.27. *Servicios de la RDSI-BA.*

Servicios conversacionales Estos servicios son aquellos, como las llamadas telefónicas, que necesitan intercambios en tiempo real (a diferencia de almacenar y enviar). Estos servicios de tiempo real se pueden utilizar para telefonía, videotelefonía, videoconferencia, transferencia de datos y otros similares.

Servicios de mensajes Estos servicios son intercambios de almacenar y enviar. Estos servicios son bidireccionales, lo que significa que todas las partes involucradas en el intercambio pueden utilizarlos al mismo tiempo. El intercambio real, sin embargo, puede no ocurrir en tiempo real. Un abonado que pide a otro información puede tener que esperar, incluso aunque ambas partes estén disponibles al mismo tiempo. Estos servicios incluyen correo de voz, correo de datos y correo de vídeo.

Servicios de recuperación Estos servicios son aquellos utilizados para recuperar información de una fuente central, denominada centro de información. Estos servicios son como bibliotecas; deben permitir el acceso público y permitir a los usuarios recuperar la información bajo demanda. Esto es, la información no se distribuye a no ser que se solicite. Un ejemplo de servicio de recuperación es el videotexto que permite a los abonados seleccionar vídeo de una biblioteca *online*. El servicio es bidireccional debido a que requiere acción en el proveedor y en el que realiza la solicitud.

Servicios distribuidos

Los **servicios distribuidos** son servicios unidireccionales enviados desde el proveedor a los abonados sin que el abonado tenga que transmitir una solicitud cada vez que desea un servicio. Estos servicios pueden ser sin control del usuario o con control del usuario.

Servicios sin control del usuario Los servicios distribuidos sin control del usuario son los de difusión al usuario sin que el usuario tenga que solicitarlo o tenga control sobre el momento o el contenido de la difusión. La elección del usuario se limita a recibir o no el servicio. Un ejemplo de este tipo de servicio es la TV comercial. El contenido y el horario es elegido por el proveedor. El usuario puede encender la televisión y cambiar el canal pero no puede solicitar un programa concreto o un programa a una hora determinada.

Servicios con control del usuario Los servicios distribuidos con control del usuario son los de difusión al usuario de forma cíclica. Los servicios se repiten periódicamente para permitir al usuario elegir la hora en la que quiere recibirlos. Qué servicios se difunden y a qué horas, sin embargo, es decisión del proveedor. Ejemplos de estos tipos de servicios son la difusión de contenido educativo, de diversión y la televisión por pago. En la televisión por pago, por ejemplo, un programa puede estar disponible en un número limitado de ranuras de tiempo. Un usuario que desea ver un programa debe activar su televisión para recibir el programa, pero no tiene más control.

Especificaciones físicas

El modelo de RDSI-BA se divide en niveles que son diferentes de los niveles de la RDSI-BE. Estos niveles están bastante relacionados con el diseño de ATM (véase el Capítulo 19).

Los aspectos físicos de la RDSI-BA no relacionados con ATM incluyen los métodos de acceso, las agrupaciones de equipos funcionales y los puntos de referencia. Estos aspectos se describen a continuación.

Métodos de acceso

La RDSI-BA define tres métodos de acceso diseñados para ofrecer tres niveles de necesidades de los usuarios. Estos son 155,520 Mbps simétrico, 155,520/620,080 Mbps asimétricos y 622,080 Mbps simétricos (véase la Figura 16.28).

- **155,520 Mbps full-dúplex.** Esta velocidad coincide con el enlace SONET OC-3 (véase el Capítulo 20). Es suficientemente alta para soportar clientes que necesitan acceso a todos los servicios de la RDSI de banda estrecha y uno o más servicios de transmisión de vídeo regular. Este método se adapta a las necesidades de la mayoría de abonados residenciales y de muchos negocios.
- **155,520 Mbps de salida/622,080 Mbps de entrada.** Este método ofrece acceso a la red en modo full-dúplex de forma asimétrica. La velocidad de salida es de 155,520 Mbps (la misma que la del enlace SONET OC-3), pero la velocidad de entrada es de 622,080 Mbps (la misma que la del enlace SONET OC-12). Está diseñada para cubrir las necesidades de las empresas que requieren la recepción simultánea de múltiples servicios y teleconferencia pero que no son proveedores de servicio ni servicios distribuidos de difusión. Las necesidades de entrada de estos abonados son mayores que las necesidades de salida. Ofrecer sólo una velocidad limitaría su recepción de servicios o daría lugar a un gasto en la capacidad del enlace. La configuración asimétrica ofrece un uso equilibrado de los recursos.
- **622,080 Mbps en modo full-dúplex.** El mecanismo final está diseñado para empresas que ofrecen y reciben servicios distribuidos.

Agrupación funcional

La agrupación funcional de equipos en la RDSI-BA es la misma que la empleada en la RDSI-BE. Sin embargo, se denominan NT1-BA, NT2-BA, TE1-BA, TE2-BA y TA-BA.

Puntos de referencia

La RDSI-BA también utiliza los mismos puntos de referencia que la RDSI-BE (R, S, T y U). Algunos de ellos, sin embargo, se encuentran actualmente en análisis y pueden ser redefinidos.

16.6. FUTURO DE LA RDSI

La RDSI-BE se diseñó para reemplazar el sistema telefónico analógico por uno digital para transmisión de voz y de datos. El diseño estaba basado en suponer que los avances tecnológicos y la producción masiva de equipos RDSI-BE estarían al alcance de los abonados.

De hecho, la RDSI de banda estrecha ha reemplazado a la línea telefónica normal en algunos países de Europa en respuesta a la demanda de los usuarios. En los Estados Unidos, esta

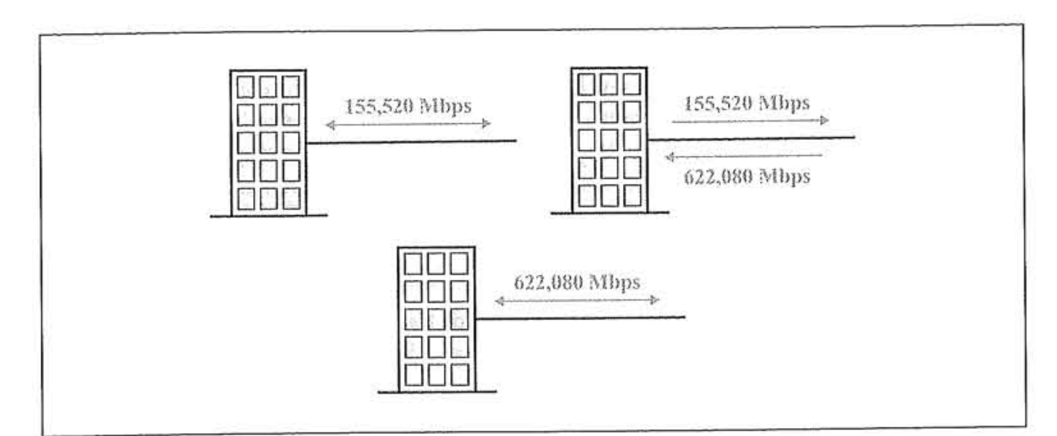


Figura 16.28. *Accesos de la RDSI-BA.*

sustitución fue aplazada (está disponible bajo demanda) y las nuevas tecnologías (como el cable módem y ADSL) han hecho que el uso de la RDSI-BE sea cuestionable. Sin embargo, nosotros creemos que la RDSI puede todavía ser considerada una buena solución por varios motivos. En primer lugar, la RDSI puede llevarse a los abonados con un mínimo coste y los servicios disponibles pueden satisfacer las necesidades de muchos usuarios (no todos los usuarios necesitan vídeo bajo demanda). En segundo lugar, han aparecido nuevos equipos en el mercado que permiten a los abonados utilizar el ancho de banda de una línea RDSI (192 Kbps para interfaces BRI o 1,544 Mbps para interfaces PRI). Esto la hace competitiva con otras tecnologías. En tercer lugar, el protocolo es lo suficientemente flexible para actualizarse a las altas velocidades de datos que utilizan las nuevas tecnologías y los nuevos medios de transmisión. En cuarto lugar, la RDSI-BE se puede utilizar como un precursor para la RDSI-BA, cuya tasa de datos es suficiente para rectificar las necesidades de los próximos años.

16.7. TÉRMINOS Y CONCEPTOS CLAVE

adaptador de terminal (TA)
canal de datos (canal D)
canal híbrido (canal H)
canal portador (canal B)
cauce digital
centralita telefónica privada (PBX)
codificación pseudoternaria
elemento de información
equipo terminal de tipo 1 (TE1)
equipo terminal de tipo 2 (TE2)
I.430
I.431
identificador de equipo terminal (TEI)
identificador de punto de acceso a servicio (SAPI)
interfaz de velocidad básica (BRI)
interfaz de velocidad primaria (PRI)
interfaz R (punto de referencia R)
interfaz S (punto de referencia S)
interfaz T (punto de referencia T)
interfaz U (punto de referencia U)
mensaje
plano de control
plano de gestión
plano del usuario
RDSI de banda ancha (RDSI-BA)
red analógica
red digital
red digital de servicios integrados (RDSI)
red digital integrada (IDN)
señalización en banda
señalización fuera de banda
servicios distribuidos
servicios interactivos
servicios portadores
servicios suplementarios
teleservicios
terminación de red 1(NT1)
terminación de red 2 (NT2)

16.8. RESUMEN

- Una RDSI ofrece servicios digitales a los usuarios a través de redes digitales integradas.
- Los servicios digitales se pueden clasificar en tres clases:
  a. Servicios portadores: la red no manipula el contenido de la información.
  b. Teleservicios: la red puede cambiar o procesar el contenido de la información.
  c. Servicios suplementarios: no pueden estar solos; deben utilizarse con servicios portadores o teleservicios.
- Un cauce digital es un camino de alta velocidad compuesto de canales multiplexados en el tiempo. Hay tres tipos de canales:
  a. Portador (B): canal de usuario básico.
  b. Datos (D): para controlar los canales B, transferencia de datos a baja velocidad y otras aplicaciones.
  c. Híbrido (H): aplicaciones con velocidades de datos altas.
- Una interfaz BRI es un cauce digital compuesto de dos canales B y un canal D.
- Una interfaz PRI es un cauce digital compuesto de 23 canales B y un canal D.
- Tres agrupaciones funcionales de equipos permiten a los usuarios acceder a la RDSI: terminaciones de red, equipos terminales y adaptadores de terminales.
- Hay dos tipos de terminaciones de red:
  a. Terminación NT1: equipo que controla la terminación física y eléctrica de la RDSI en el lugar del usuario.
  b. Terminación NT2: equipo que realiza funciones relacionadas con los niveles uno a tres del modelo OSI.
- Los equipos terminales (fuentes de datos similares a los DTE) se pueden clasificar de la siguiente forma:
  a. Equipo TE1: equipo del abonado conforme a los estándares RDSI.
  b. Equipo TE2: equipo del abonado que no es conforme a los estándares RDSI.
  c. TA: convierte datos de las terminaciones TE2 a los estándares RDSI.
- Un punto de referencia define las interfaces RDSI. Los puntos de referencia son:
  a. R: entre una terminación TE2 y un TA.
  b. S: entre una terminación TE o TA y una terminación NT.
  c. T: entre una terminación NT1 y una terminación NT2.
  d. U: entre una terminación NT1 y la central RDSI.
- La arquitectura de la RDSI consta de tres planos, cada uno de los cuales consta de los siete niveles del modelo OSI. Los planos son:
  a. El plano del usuario: define la funcionalidad de los canales B y H.
  b. El plano de control: define la funcionalidad del canal D cuando se utiliza para señalización.
  c. El plano de gestión: abarca los otros dos planos y se utiliza para gestión de la red.

- El nivel físico de los planos de usuario y de control son los mismos.
- La interfaz BRI tiene una velocidad de 192 Kbps (4.000 tramas/s, 48 bits/trama).
- La interfaz PRI tiene una velocidad de 1,544 Mbps (8.000 tramas/s, 193 bits/trama).
- La distancia entre un equipo terminal y una terminación de red depende de la conexión, la topología y la colocación de múltiples equipos terminales.
- En el nivel de enlace de datos, el canal B (usuario) utiliza el protocolo LAPB. El canal D (control) utiliza el protocolo LAPD, que también es similar al protocolo HDLC.
- En el nivel de red, el paquete de datos del canal D se denomina mensaje. Consta de cuatro campos:
  a. Discriminante del protocolo: identifica el protocolo utilizado.
  b. Referencia de llamada: identifica el número de secuencia.
  c. Tipo de mensaje: identifica el objetivo del mensaje.
  d. Elementos de información (de varios campos): información sobre la conexión.
- La RDSI de banda ancha (RDSI-BA), que utiliza fibra óptica, cumple las necesidades de los usuarios que requieren mayores velocidades de datos que las ofrecidas por la RDSI. La RDSI-BA tiene una velocidad de 600 Mbps.
- La RDSI-BA ofrece dos servicios:
  a. Interactivos: servicios bidireccionales (dos abonados o un par abonado-proveedor).
  b. Distribuidos: servicios unidireccionales del proveedor al abonado.
- Existen tres métodos de acceso disponibles en la RDSI-BA:
  a. 155,520 Mbps en modo full-fúplex.
  b. 155,520 Mbps de salida y 620,080 Mbps de entrada, en modo full-dúplex asimétrico.
  c. 622,080 Mbps en modo full-fúplex.
- La agrupación funcional y los puntos de referencia de la RDSI-BA son los mismos que los de la RDSI (también conocida como RDSI de banda estrecha o RDSI-BE).

16.9. MATERIAL PRÁCTICO

Preguntas de revisión

1. Explique cada una de las palabras de «Red digital de servicios integrados».
2. Compare las tres categorías de servicios ofrecidos por la RDSI.
3. Discuta brevemente la evolución de la RDSI.
4. ¿En qué se diferencia la RDI de la RDSI?
5. ¿Qué tipo de información puede transmitir un canal B? ¿Qué tipo de información puede transmitir un canal D? ¿Qué tipo de información puede transmitir un canal H?
6. ¿Cuál es la diferencia entre la señalización en banda y la señalización fuera de banda?
7. ¿Quiénes son los abonados de la interfaz BRI? ¿Quiénes son los abonados de la interfaz PRI?
8. ¿Cuál es la velocidad de una interfaz BRI? ¿Cuál es la velocidad de una interfaz PRI?
9. ¿Qué es una terminación NT1?
10. ¿Qué es una terminación NT2?
11. ¿Qué es un equipo TE1?

12. ¿Qué es un equipo TE?
13. ¿Qué es un TA?
14. ¿Qué es un punto de referencia?
15. ¿Cuál es la relación entre los niveles de la RDSI y los niveles del modelo OSI?
16. ¿Cuál es el papel de la codificación 2B1Q en la RDSI?
17. Discuta las funciones del nivel físico de la RDSI.
18. ¿Cuáles son los problemas de longitud de cable que tiene los abonados con una interfaz BRI? ¿Se tienen los mismos problemas con la interfaz PRI? Razone su respuesta.
19. ¿Cuáles son los protocolos de enlace de datos utilizados en la RDSI?
20. ¿Cuáles son las cuatro categorías de mensajes en el nivel de red?
21. ¿Cuál es la principal diferencia entre la RDSI-BE y la RDSI-BA?
22. En la RDSI-BA, ¿cuál es la diferencia entre un servicio interactivo y uno distribuido?
23. Compare los tres métodos de acceso de la RDSI-BA.

Preguntas con respuesta múltiple

24. La RDSI es un acrónimo de _____.
    a. Redes digitales para servicios de información.
    b. Redes de datos para sistemas de interconexión.
    c. Red digital de servicios integrados.
    d. Red digital de señales integradas.
25. El canal _____ se puede utilizar para controlar los canales B.
    a. BC
    b. D
    c. H
    d. C
26. El canal _____ tiene la tasa de datos más baja.
    a. B
    b. C
    c. D
    d. H
27. El canal _____ se utiliza en aquellas aplicaciones que requieren una velocidad de transmisión mayor de 64 Kbps.
    a. B
    b. C
    c. H
    d. D
28. El canal _____ se puede utilizar para telemetría y alarmas.
    a. B
    b. C
    c. D
    d. H
29. La interfaz de usuario normal de una RDSI es PRI o _____.
    a. interfaz de velocidad de bit
    b. interfaz de velocidad básica
    c. interfaz de velocidad de byte
    d. interfaz de velocidad amplia

30. La interfaz BRI está compuesta de _____.
    a. dos canales B
    b. un canal H
    c. un canal D
    d. a y c
31. La sobrecarga que utiliza la interfaz BRI es un _____ por ciento de la velocidad de datos total.
    a. 10
    b. 20
    c. 25
    d. 30
32. La interfaz PRI consta de _____ canales.
    a. 23
    b. 24
    c. 64
    d. 65
33. El equipo que controla la terminación física y eléctrica de la RDSI en el lugar del usuario se denomina _____.
    a. NT1
    b. NT2
    c. NT3
    d. NT4
34. El equipo que realiza funciones relacionadas con los niveles 1, 2 y 3 del modelo OSI se denomina _____.
    a. NT1
    b. NT2
    c. NT3
    d. NT4
35. En la RDSI, el equivalente al DTE es el _____.
    a. TE1
    b. TE2
    c. TE3
    d. TE4
36. Un _____ es un grupo de equipos que no siguen el estándar RDSI.
    a. TE1
    b. TE2
    c. TEx
    d. TE
37. Un _____ convierte la información de un formato no RDSI a un formato RDSI.
    a. TE1
    b. TE2
    c. TEx
    d. TA
38. Un punto de referencia R es la especificación para conectar un TE2 y un _____.
    a. TE1
    b. NT1
    c. NT2
    d. TA

39. Un punto de referencia U es la especificación para conectar la central RDSI con _____.
    a. NT1
    b. NT2
    c. TE1
    d. TE2
40. Un punto de referencia _____ es la especificación para conectar un NT1 con un NT2.
    a. R
    b. S
    c. T
    d. U
41. ¿Qué plano de la RDSI está asociado con la señalización y el canal D?
    a. usuario
    b. control
    c. gestión
    d. supervisor
42. ¿Qué plano de la RDSI está asociado con los canales B y la transmisión de la información del usuario?
    a. usuario
    b. control
    c. gestión
    d. supervisor
43. Cada trama PRI dura _____ microsegundos.
    a. 1
    b. 1,544
    c. 125
    d. 193
44. En los _____ de la RDSI, la red puede cambiar o procesar el contenido de los datos.
    a. servicios portadores
    b. teleservicios
    c. servicios suplementarios
    d. ninguno de los anteriores
45. En los _____ de la RDSI, la red no cambia o procesa el contenido de los datos.
    a. servicios portadores
    b. teleservicios
    c. servicios suplementarios
    d. ninguno de los anteriores
46. En la RDSI-BA, la clase general de servicio entre un abonado y el proveedor de servicio o entre dos abonados es el servicio _____.
    a. interactivo
    b. distribuido
    c. conversacional
    d. de mensajes
47. En la RDSI-BA, cuando usted recibe información de un centro público, está utilizando los servicios _____.
    a. conversacionales
    b. de mensajes
    c. de recuperación
    d. distribuidos

48. En los servicios _____, todas las transmisiones entre dos entidades se realizan en tiempo real.
   a. conversacionales
   b. de mensajes
   c. de recuperación
   d. distribuidos
49. Cuando usted almacena y encamina mensajes en la RDSI-BA, está utilizando los servicios _____.
   a. conversacionales
   b. de mensajes
   c. de recuperación
   d. distribuidos
50. La TV comercial es un ejemplo de _____.
   a. servicios de mensajes
   b. servicios conversacionales
   c. servicios distribuidos sin control del usuario
   d. servicios distribuidos con control del usuario
51. ¿Qué método de acceso está diseñado para los clientes que necesitan recibir servicios distribuidos pero no ofrecen servicios distribuidos a otros?
   a. 155,520 Mbps en modo full-dúplex
   b. 155,520 Mbps y 622,080 Mbps en modo full-dúplex asimétrico
   c. 622,080 Mbps en modo full-dúplex
   d. 400 Mbps en modo full-dúplex

Ejercicios

52. Cuando un dispositivo utiliza el canal B, ¿cuántos bits pueden enviarse por trama?
53. Cuando un dispositivo utiliza un canal D, ¿cuántos bits pueden enviarse por trama?
54. El contenido del campo de dirección de un canal D es 0100000000100101. ¿Cuál es la dirección del TE?
55. La dirección de un TE es 104 y se emplea el canal D para señalización. Muestre el contenido del campo de dirección en la trama D.
56. Codifique el patrón de bits 011110111111 en 2B1Q.
57. Tres dispositivos se conectan a un servicio RDSI con interfaz BRI. El primer dispositivo utiliza un canal B y envía el texto «HI». El segundo dispositivo usa el otro canal B y envía el texto «BE». El tercer dispositivo emplea el canal D y envía el patrón de bits 1011. Muestre el contenido de la trama BRI (no considere la sobrecarga).
58. La RDSI utiliza señalización fuera de banda, en la cual se utiliza el canal D para señalización. ¿Qué ocurre si el canal D se utiliza para transferencia de datos? ¿Sigue siendo una señalización fuera de banda?
59. ¿Cuántos países pueden definirse de acuerdo al campo de dirección de la RDSI? ¿Cuántas redes se pueden definir para cada país? ¿Cuántos abonados por red (NT1 o NT2)? ¿Cuántos TE por abonado? ¿Cuántos TE en total?
60. Una terminación NT1 con dirección 445631411213121 quiere establecer una conexión con otra terminación NT1 con dirección 231131781211327. ¿Esta conexión se realiza en el mismo país o entre países distintos? ¿Cuáles son los códigos de país del origen y del destino? ¿Cuáles son los números de red?

61. Dos TE se conectan a una red RDSI como se muestra en la Figura 16.29. Muestre la secuencia de paquetes del canal D intercambiados entre ellos (en el nivel de red) para establecer la conexión. ¿En qué lugar se encuentran involucradas las direcciones RDSI?
62. Repita el Ejercicio 61, pero muestre la secuencia de paquetes del canal D intercambiados durante la terminación de la conexión.

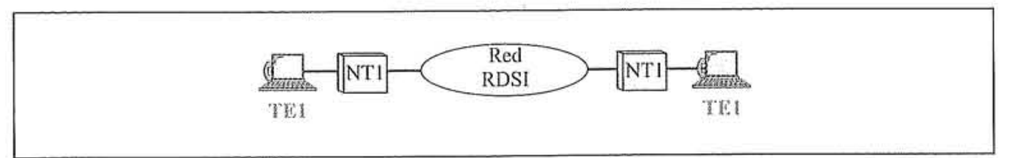


Figura 16.29. *Ejercicios 61 y 62.*

CAPÍTULO 17

X.25

X.25 es una red de área amplia de **conmutación de paquetes** desarrollada por la ITU-T en 1976. Desde entonces ha pasado por varias revisiones. De acuerdo a la definición formal dada por el estándar ITU-T, X.25 es una interfaz entre el equipo terminal de datos (DTE) y el equipo terminal del circuito de datos (DCE) para el funcionamiento del terminal en modo de paquetes a través de redes públicas de datos.

La Figura 17.1 ofrece una visión conceptual de X.25. Aunque X.25 es un protocolo extremo a extremo, el movimiento real de paquetes a través de la red es invisible al usuario. Los usuarios ven la red como una nube a través de la cual cada paquete pasa hacia el DTE receptor.

X.25 define la forma en la que un terminal en modo de paquetes se puede conectar a una red de paquetes para intercambiar datos. Describe los procedimientos necesarios para establecer, mantener y finalizar las conexiones. También describe un conjunto de servicios, denominados facilidades que ofrecen funciones como llamada a cobro revertido, llamada directa y control de retardo.

X.25 es lo que se conoce como un protocolo de interfaz de red de abonado (SNI, *subscriber network interface*). Define la forma en la que el DTE del usuario se comunica con la red y cómo los paquetes se envían a través de la red utilizando varios DCE. Utiliza conmutación de paquetes mediante circuitos virtuales (SVC y PVC) y usa TDM asíncrono (estadístico) para multiplexar los paquetes.

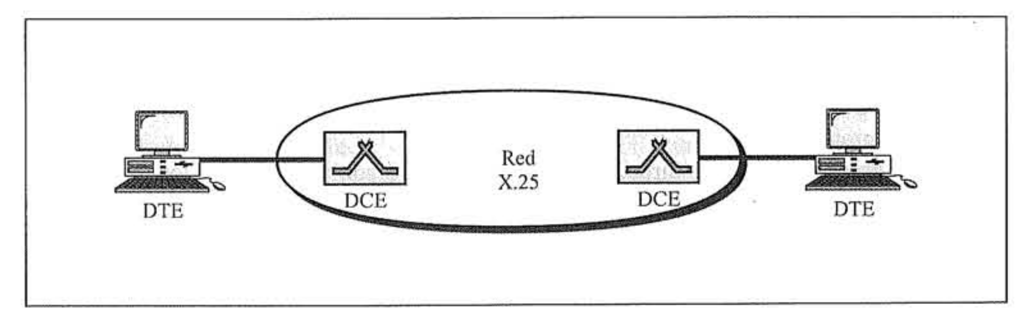


Figura 17.1. *X.25.*

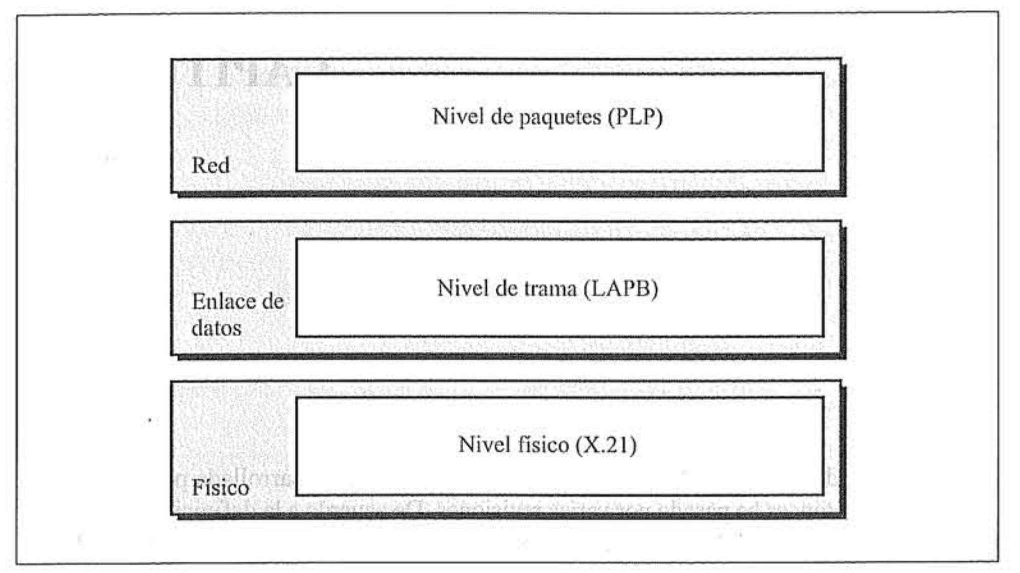


Figura 17.2. *Niveles de X.25 en relación a los niveles OSI.*

17.1. NIVELES DE X.25

El protocolo X.25 define tres niveles: el nivel físico, el nivel de trama y el nivel de paquetes. Estos niveles definen las funciones de los niveles físico, de enlace de datos y de red del modelo OSI. En la figura 17.2 se muestran las relaciones entre los niveles de X.25 y los niveles OSI.

Nivel físico

En el nivel físico, X.25 especifica un protocolo denominado X.21 (o X.21 bis), que ha sido específicamente definido para X.25 por la ITU-T. X.21, sin embargo, es tan similar a otros protocolos de nivel físico, como el EIA-232, que X.25 es capaz de soportarlos también (véase el Capítulo 6).

Nivel de trama

En el nivel de trama, X.25 ofrece controles de enlace de datos utilizando un protocolo orientado a bit denominado **procedimiento balanceado de acceso a enlace (LAPB),** que es un subconjunto de HDLC (véase el Capítulo 11). La Figura 17.3 muestra el formato general del paquete del protocolo LAPB.

El campo delimitador, de dirección, de control y FCS son exactamente los mismos que los descritos en el Capítulo11. Sin embargo, debido a que aquí la comunicación es punto a punto y en modo asíncrono balanceada, las dos únicas direcciones son la 00000001 (para una orden emitida por el DTE y la respuesta a esta orden) y 00000011 (para una orden emitida por un DCE y la respuesta a esta orden). La Figura 17.4 muestra cómo se utilizan las direcciones en el nivel de trama (de enlace de datos).

Delimitador | Dirección | Control | **Información** | FCS | Delimitador

Trama I: datos de usuario
Trama S: vacía
Trama U: datos de control

Figura 17.3. *Formato de una trama.*

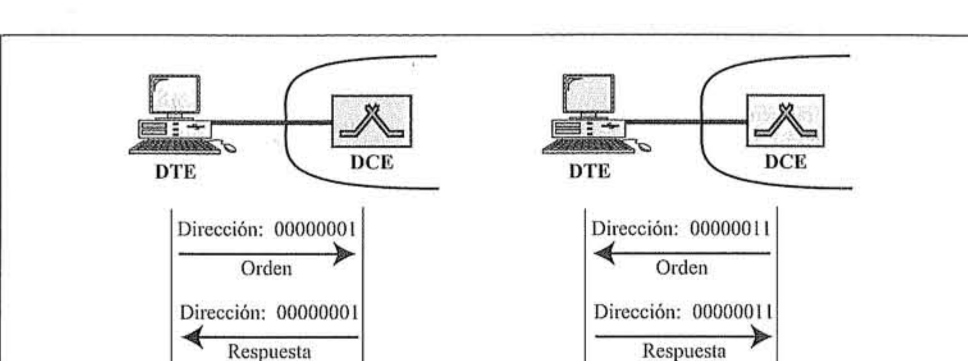


Figura 17.4. *Direccionamiento en el nivel de trama.*

Tres categorías de tramas

Como se vio en el Capítulo 11, HDLC (así como su derivación, LAPB) tiene tres categorías de tramas: tramas I, tramas S y tramas U.

Tramas I Las tramas I se utilizan para encapsular paquetes PLP del nivel de red.

Tramas S Las tramas S se utilizan para control de errores y de flujo en el nivel de trama.

Tramas U Las tramas U se utilizan para establecer y desconectar los enlaces entre un DTE y un DCE. Los tres paquetes más utilizados por LAPB dentro de esta categoría son el paquete SABM (o ESABM si se utiliza el modo de direccionamiento extendido), el paquete UA y el paquete DISC (en el Capítulo 11 se describen estos paquetes).

Fases del nivel de trama

En el nivel de trama, la comunicación entre un DTE y un DCE involucra tres fases: establecimiento del enlace, transferencia de paquetes y desconexión del enlace (véase la Figura 17.5).

Establecimiento del enlace El enlace entre un DTE y un DCE debe establecerse antes de que se puedan transferir los paquetes provenientes del nivel de paquetes. Tanto el DTE como el DCE pueden establecer el enlace enviando una trama SABM (establecer modo balanceado asíncrono). La parte que responde envía una trama UA (confirmación no numerada) para mostrar que el enlace ya está establecido.

Transferencia de datos Una vez establecido el enlace, las dos partes pueden enviar y recibir paquetes del nivel de red (datos y control) utilizando tramas I y S.

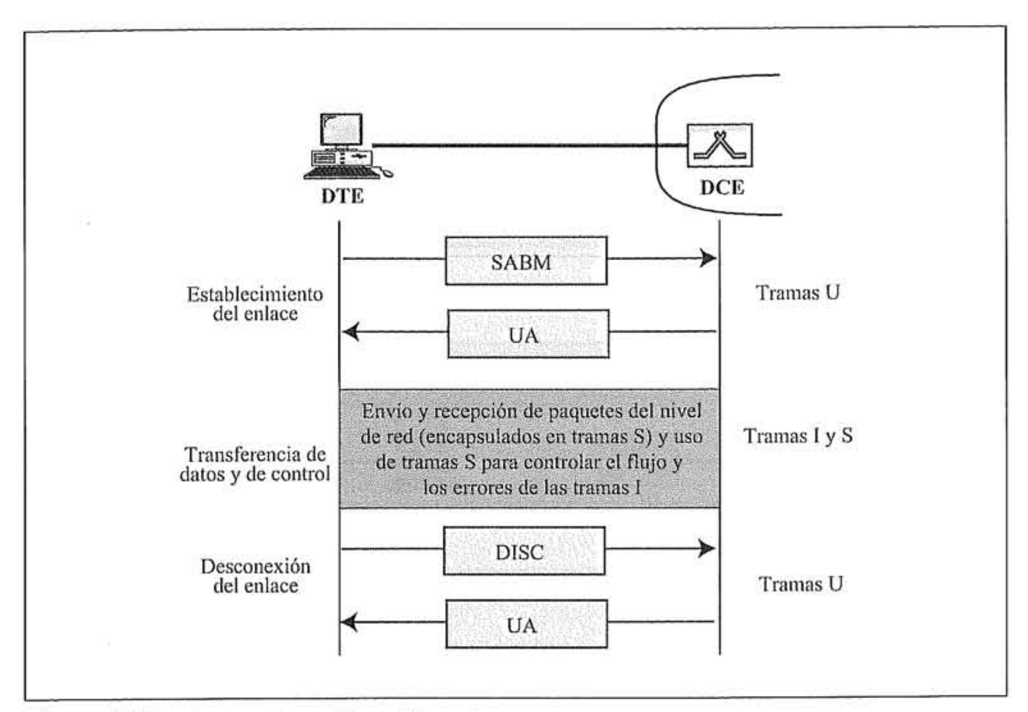


Figura 17.5. *Las tres fases del nivel de red.*

Desconexión del enlace Cuando el nivel de red deja de necesitar el enlace, una de las partes puede emitir una trama de desconexión (DISC) para solicitar la desconexión. La otra parte puede responder con una trama UA.

Nivel de paquetes

El nivel de red en X.25 se denomina **protocolo de nivel de paquetes (PLP).** Este nivel es el responsable del establecimiento, transferencia de datos y finalización de la conexión. Además, se encarga de crear los circuitos virtuales (tratados más adelante) y de negociar los servicios de red entre los dos equipos terminales de datos. Mientras que el nivel de trama se encarga de realizar la conexión entre un DTE y un DCE, el nivel de paquetes se encarga de establecer la conexión entre dos DTE (conexión extremo a extremo). Observe que X.25 utiliza control de errores y de flujo en dos niveles (en el nivel de trama y en el de paquetes). El control de errores y de flujo entre un DTE y un DCE (enlace) se encuentra bajo jurisdicción del nivel de trama. El control de errores y de flujo extremo a extremo entre dos DTE (extremo a extremo) se encuentra bajo la jurisdicción del nivel de paquetes. La Figura 17.6 muestra la diferencia entre los dominios de responsabilidad de los niveles de trama y de paquetes.

Circuitos virtuales

El protocolo X.25 es una **red de conmutación de paquetes** que utiliza circuitos virtuales. Observe que los circuitos virtuales en X.25 son creados en el nivel de red (no en el nivel de enlace de datos como en otras redes de área amplia como Frame Relay o ATM). Esto signifi-

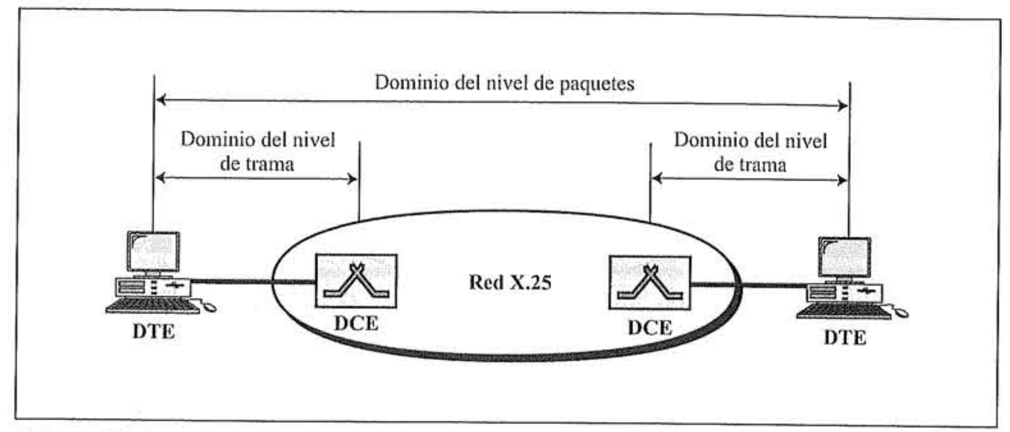


Figura 17.6. *Dominios de los niveles de trama y de paquetes.*

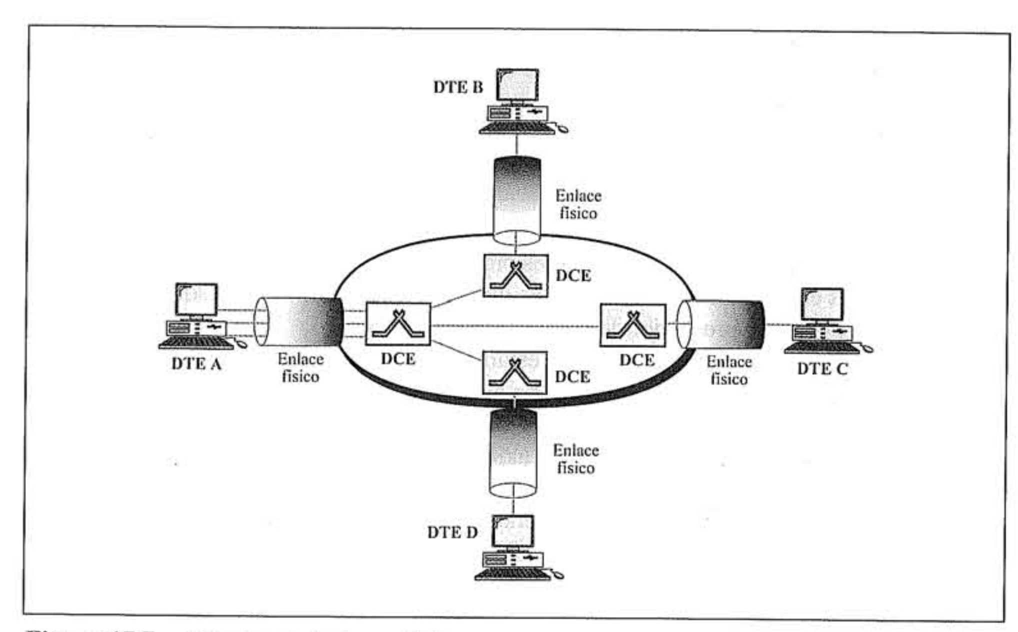


Figura 17.7. *Circuitos virtuales en X.25.*

ca que una conexión física entre un DTE y un DCE puede transportar varios circuitos virtuales en el nivel de red, siendo cada circuito responsable de la transmisión de información de datos o de control, concepto denominado señalización en banda. La Figura 17.7 muestra una red X.25 en la que se han creado tres circuitos virtuales entre el DTE A y otros tres DTE.

Identificadores de circuitos virtuales

Cada circuito virtual en X.25 debe estar identificado para ser usado por los paquetes. El **identificador de circuito virtual** en X.25 se denomina **número de canal lógico (LCN,** ***Logical***

Figura 17.8. *Números de canales lógicos (LCN) en X.25.*

Channel Number). Cuando se establece un canal virtual entre dos DTE, siempre hay un par de LCN: uno define el circuito virtual entre el DTE y el DCE locales y el otro define el circuito virtual entre el DCE y el DTE remotos. La razón para tener dos LCN diferentes es hacer al LCN de dominio local. Esto permite que el conjunto de LCN para conexión local sea pequeño y, por tanto, que el campo utilizado para el LCN sea corto. Una LCN global requeriría un conjunto de LCN más grande y, por tanto, necesitaría un campo para el LCN más grande. El LCN local permite que el mismo conjunto de LCN pueda ser utilizado por dos pares diferentes de enlaces DTE-DCE sin ninguna confusión. La Figura 17.8 muestra los números de canales lógicos en una red X.25.

X.25 utiliza circuitos virtuales conmutados y permanentes (PVC y SVC). Los circuitos virtuales permanentes son establecidos por los proveedores de la red X.25. Son similares a las líneas alquiladas en las redes telefónicas. Los números de canales lógicos son asignados de forma permanente por el proveedor de la red.

Los circuitos virtuales conmutados se establecen en cada sesión. El nivel de red utiliza un paquete de control para establecer una conexión. Una vez establecida la conexión, se asignan números de canales lógicos a los dos enlaces DTE-DCE. Una vez realizada la transferencia, se desconecta el circuito virtual y los números de canales lógicos dejan de ser válidos.

Observe que el establecimiento y la liberación del circuito virtual en el nivel de red es diferente al establecimiento y la liberación del enlace en el nivel de trama. En una situación normal, se producen los cinco eventos siguientes:

- Se establece un enlace entre el DTE y el DCE locales y también entre el DTE y el DCE remotos.
- Se establece un circuito virtual entre el DTE local y el DTE remoto.
- Se transfieren los datos entre los dos DTE.
- Se libera al circuito virtual.
- Se desconecta el enlace.

Asignación de números de canales lógicos

X.25 permite hasta 4.096 (2^{12}) números de canales lógicos. La Figura 17.9 muestra cómo se asignan estos números de canales. Los LCN unidireccionales se utilizan para comunicación símplex. Los LCN bidireccionales se utilizan para comunicación dúplex.

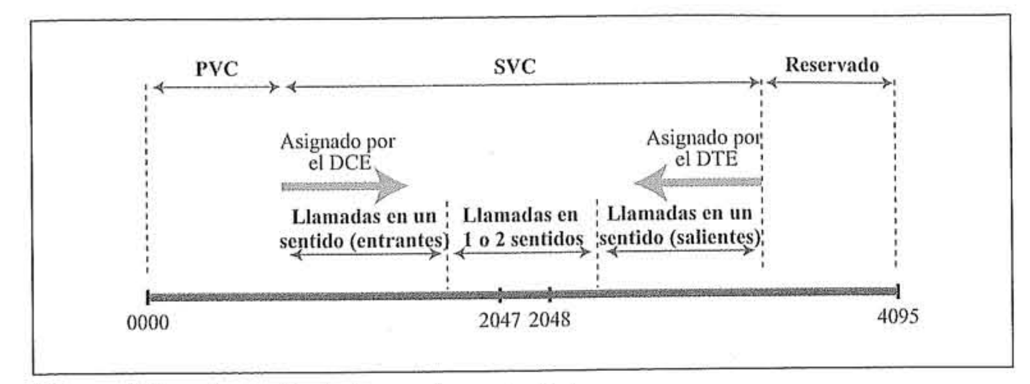


Figura 17.9. *Asignación de números de canales lógicos.*

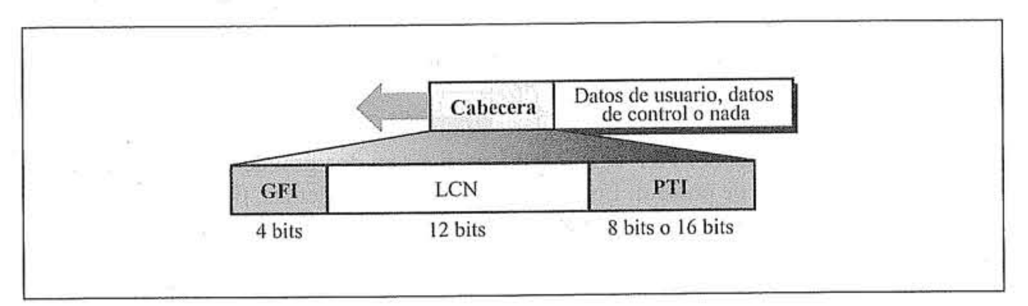


Figura 17.10. *Formato del paquete del protocolo PLP.*

Paquetes del protocolo PLP

El formato general de un paquete en el protocolo PLP se muestra en la Figura 17.10. Tiene tres o cuatro bytes de cabecera y un campo de información opcional.

Los campos de la cabecera son los siguientes:

- **Identificador de formato general (GFI,** *General Format Identifier*). El identificador de formato general es un campo de cuatro bits. El primer bit, denominado bit Q (*Qualifier*), define el origen de la información de control: 0 para PLP, 1 para otros protocolos de nivel superior. El bit D (*Delivery*) define qué dispositivo debería confirmar el paquete: 0 para el DCE local, 1 para el DTE remoto. Los dos últimos bits del GFI indican el tamaño del campo para los números de secuencia. Si estos bits son 01, los números de secuencia son de tres bits: módulo 8 (0 a 7). Si estos bits son 10, los números de secuencia son de 7 bits: módulo 128 (0 a 127).
- **Número de canal lógico (LCN).** El número de canal lógico es un campo de 12 bits que identifica el circuito virtual elegido para una transmisión concreta. El protocolo inicialmente definió un número de canal de grupo lógico (LGCN, *Logical Group Channel Number*) de 4 bits y un número de canal lógico (LCN) de 8 bits para dar un sentido de jerarquía al identificador de circuito virtual. Pero hoy en día la combinación se conoce normalmente como número de canal lógico.

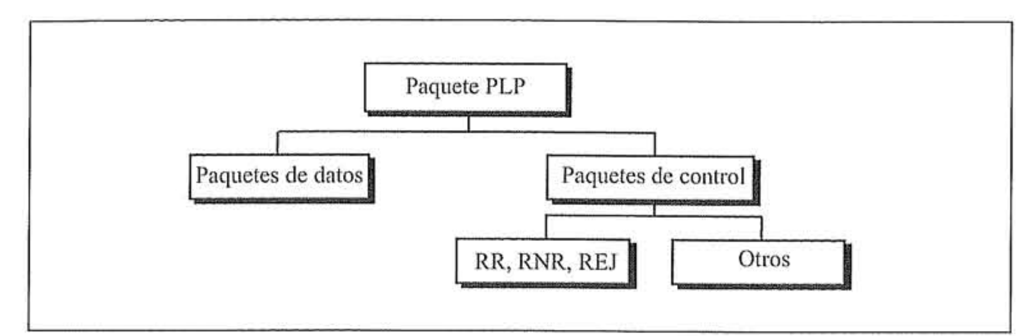


Figura 17.11. *Clases de paquetes en el protocolo PLP.*

- **Identificador de tipo de paquete (PTI,** *Packet Type Identifier*). Este identificador define el tipo de paquete. El contenido de este campo es diferente para cada paquete. Este paquete se tratará en la sección siguiente.

Clases de paquetes

Los paquetes en el protocolo PLP se pueden clasificar en dos grandes categorías: paquetes de datos y paquetes de control. Los paquetes de control, además, tienen dos formatos: uno utilizado por los paquetes RR, RNR y REJ y otro para el resto de paquetes (véase la Figura 17.11).

Paquetes de datos Los paquetes de datos se utilizan para transmitir datos de usuario. La Figura 17.12 muestra la estructura de un paquete de datos. El formato general es sencillo: una cabecera y un campo de datos. La cabecera, sin embargo, es compleja y requiere una explicación adicional. Existen dos formatos para los paquetes de información: corto y largo. El campo PTI en el paquete de datos consta de cuatro secciones. P(S) y P(R) transportan los números de secuencia del paquete para el control de errores y de flujo. P(S) significa *envío de paquete* e indica el número de secuencia del paquete que se está enviando. P(R) significa *recepción de paquete* e indica el número de secuencia para el siguiente paquete esperado por el receptor. Este campo se utiliza para incorporar la confirmación de los paquetes de datos cuando ambas partes tienen datos que enviar. En la cabecera corta, los campos P(S) y P(R) son de tres bits (números de secuencia de 0 a 7). En la cabecera larga, cada campo contiene 7 bits (números de secuencia de 0 a 127). El bit M (*more*) se utiliza para definir un conjunto de paquetes que pertenecen a la misma unidad. El bit se fija a 1 si hay más paquetes en la unidad (por ejemplo un mensaje); se fija a 0 si el paquete es el último. Los paquetes de datos se diferencian de los de control por un 0 en el bit menos significativo del tercer byte.

Paquetes RR, RNR y REJ Los paquetes RR (receptor preparado, *receive ready*), RNR (receptor no preparado, *receive not ready*) y REJ (rechazo, *reject*) constan sólo de una cabecera con los dos bits menos significativos del tercer byte con valor 01. La Figura 17.13 muestra el formato general de estos paquetes. La cabecera es esencialmente la misma que la del paquete de datos con sólo una diferencia; debido a que estos paquetes se utilizan solamente para control de errores y de flujo, no transportan datos y por tanto no tienen el campo P(S). En su lugar, contienen un nuevo campo, el campo de tipo de paquete, que transporta un código que describe el objetivo del paquete.

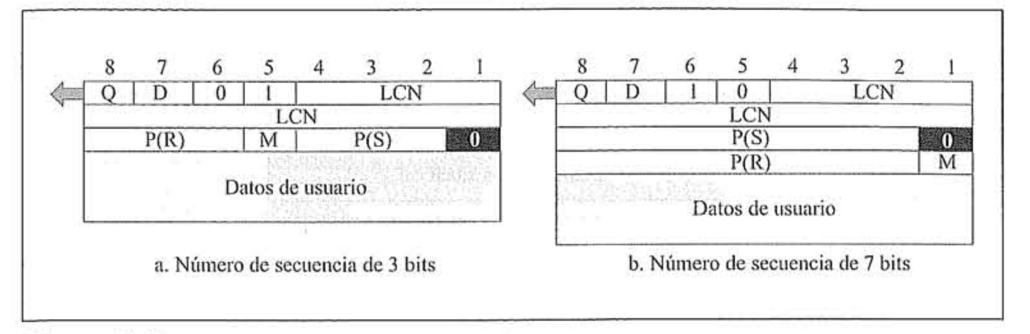


Figura 17.12. *Paquetes de datos en el protocolo PLP.*

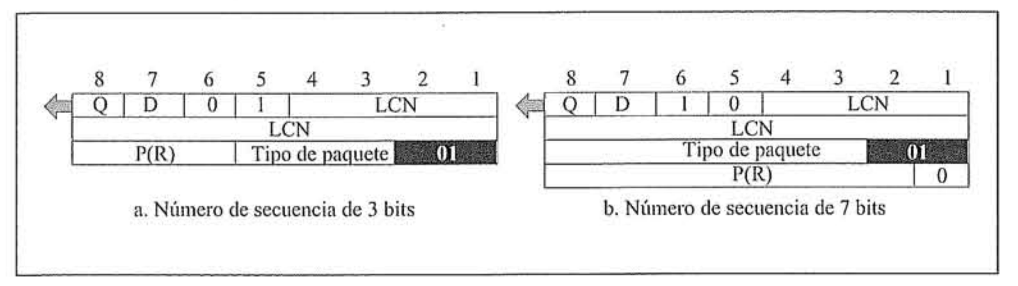


Figura 17.13. *Paquetes RR, RNR y REJ.*

Estos paquetes pueden ser alguno de los tres tipos siguientes: receptor preparado (RR), receptor no preparado (RNR) y rechazo. A continuación se describen estos paquetes:

- **RR (000).** Receptor preparado (RR) significa que el dispositivo (DTE o DCE) está listo para recibir más paquetes. También confirma la recepción de un paquete de datos indicando el número del siguiente paquete esperado en el campo P(R).
- **RNR (001).** Receptor no preparado (RNR) significa que el dispositivo no puede aceptar paquetes. La otra parte debe parar el envío de paquetes tan pronto como recibe este paquete.
- **REJ (010).** Rechazo (REJ) significa que hubo un error en el paquete identificado por el campo P(R). La otra parte debe reenviar el paquete indicado y todos los que le siguen (recuperación adelante-atrás N).

Otros paquetes de control Los otros tipos de paquetes de control pueden transportar información además de la cabecera. Sin embargo, la información sólo se utiliza para control y no contiene datos de usuario. Dentro de esta categoría, sólo hay un tamaño de cabecera debido a que estos paquetes no transportan números de secuencia. En estos paquetes, los dos bits menos significativos del tercer byte se fijan a 11. La Figura 17.14 muestra el formato general de la cabecera, que es esencialmente la misma que la del paquete de información, excepto que no hay campos P(R) o P(S).

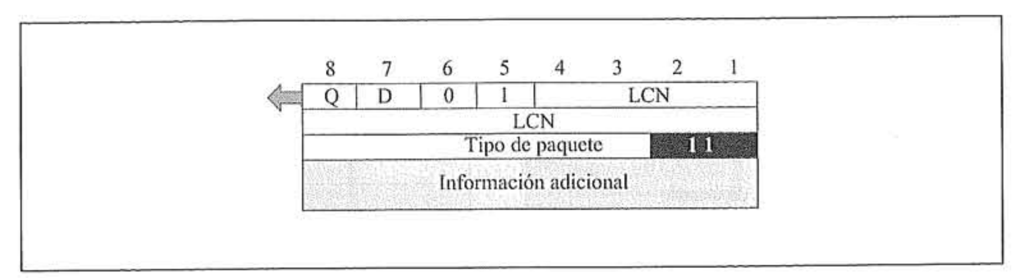


Figura 17.14. *Otros paquetes de control.*

En estos paquetes de control, el campo que almacena el tipo de paquete tiene una longitud de seis bits y se puede utilizar para especificar hasta 64 funciones diferentes. En el momento de escribir este libro, sin embargo, sólo se les ha asignado significado a unos pocos de los códigos posibles. La Tabla 17.1 muestra algunos de estos tipos. En la Figura 17.15 se muestran los formatos de algunos tipos de paquetes. Las funciones de cada tipo se describen a continuación.

Tabla 17.1.

DTE a DCE	*DCE a DTE*	*Tipo*
petición de llamada	llamada entrante	000010
llamada aceptada	comunicación establecida	000011
petición de liberación	indicación de liberación	000100
confirmación de liberación	confirmación de liberación	000101
interrupción	interrupción	001000
confirmación de interrupción	confirmación de interrupción	001001
petición de reinicio	indicación de reinicio	000110
confirmación de reinicio	confirmación de reinicio	000111
petición de rearranque	indicación de rearranque	111110
confirmación de rearranque	confirmación de rearranque	111111
petición de registro		111100
	confirmación de registro	111101

- **Petición de llamada/llamada entrante.** Los paquetes de petición de llamada y de llamada entrante se utilizan para solicitar el establecimiento de una conexión entre dos DTE. La petición de llamada va del DTE local al DCE local. La llamada entrante va del DCE· remoto al DTE remoto. Además de la cabecera, cada uno de estos paquetes incluye campos que especifican la longitud de la dirección, las direcciones de los DTE, la longitud de cualquier facilidad e información opcional como códigos de acceso e información de acceso a base de datos. Las facilidades son servicios opcionales que pueden ser incluidos en cada llamada o de forma contractual. Las opciones contractuales pueden incluir servicios como prohibir llamadas entrantes o salientes, negociación de parámetros de control de flujo, aceptación de selección rápida y notificación en el bit D. Las opciones de llamada pueden incluir la negociación del control de flujo, la selección rápida y el cobro revertido.

Petición de llamada/ Llamada entrante	Cabecera	Longitud de dirección	Dirección DTE	Longitud de facilidades	Facilidades	
Llamada aceptada/ Comunicación establecida	Cabecera	Longitud de dirección	Dirección DTE	Longitud de facilidades	Facilidades	
Petición de liberación/ Indicación de liberación	Cabecera	Causa	Diagnóstico			
Confirmación de liberación	Cabecera					
Interrupción	Cabecera					
Confirmación de interrupción	Cabecera					
Petición de reinicio/ Indicación de reinicio	Cabecera	Causa	Diagnóstico			
Confirmación de reinicio	Cabecera					
Petición de rearranque/ Indicación de rearranque	Cabecera	Causa	Diagnóstico			
Confirmación de rearranque	Cabecera					
Petición de registro	Cabecera	Longitud de dirección	Dirección DTE	Longitud de registro	Registro	
Confirmación de registro	Cabecera	Longitud de dirección	Dirección DTE	Longitud de registro	Registro	

Figura 17.15. *Formatos de paquetes de control.*

- **Llamada aceptada/conexión establecida.** Los paquetes de llamada aceptada y de conexión establecida indican la aceptación de la conexión solicitada por el sistema al que se llama. Se envían en respuesta a los paquetes de petición de llamada y de llamada entrante. La llamada aceptada es enviada por el DTE remoto (al que se llama) al DCE remoto. El paquete de conexión establecida es enviado por el DCE local (el que recibe la llamada) al DTE local.
- **Petición de liberación/indicación de liberación.** Los paquetes de petición de liberación y de indicación de liberación se utilizan al final de la comunicación para desconectar (liberar) la conexión. La liberación puede ser iniciada por el DTE o el DCE. Estos paquetes también pueden ser utilizados por un DTE remoto para responder negativamente a un paquete de llamada entrante cuando es incapaz de aceptar la conexión solicitada.
- **Confirmación de liberación.** El paquete de confirmación de liberación se envía en respuesta al paquete de indicación de liberación descrito anteriormente.
- **Interrupción.** El paquete de interrupción se utiliza bajo circunstancias inusuales para romper el intercambio de datos y llamar la atención. Puede ser enviada por el DTE o el DCE involucrado en el intercambio de datos y actúa como una alerta. Por ejemplo, imagine que un DTE local espera mucho tiempo sin recibir un reconocimiento positivo o negativo desde el DCE remoto. Su ventana ha alcanzado el fin. No puede enviar más paquetes y no puede salir. Envía un mensaje de interrupción para llamar la atención.

- **Confirmación de interrupción.** El paquete de confirmación de interrupción confirma la recepción de un paquete de interrupción descrito anteriormente.
- **Petición de reinicio/indicación de reinicio.** Los paquetes de petición de reinicio y de indicación de reinicio se utilizan para reiniciar los números de secuencia de un intercambio sobre un circuito virtual. Los paquetes de reinicio se utilizan cuando una conexión ha sido dañada en un punto en el que el circuito virtual debe ser reiniciado. El circuito virtual permanece activo, pero la transmisión comienza de nuevo desde un punto predeterminado; todos los paquetes a partir de ese momento se numeran comenzando en el 0.
- **Confirmación de reinicio.** El paquete de confirmación de reinicio confirma el proceso de reinicio.
- **Petición de rearranque/indicación de rearranque.** Los paquetes de petición de rearranque y de indicación de rearranque rearrancan todos los circuitos virtuales creados por un DTE. Este proceso es diferente al proceso de reinicio. Los paquetes de reinicio activan un nuevo conjunto de números de secuencia sobre un circuito virtual existente. Los paquetes de rearranque comienzan un nuevo circuito virtual. El rearranque finaliza y reestablece una llamada estableciendo un nuevo circuito virtual para la transmisión. Cualquier paquete que permanezca en el camino original es perdido y los nuevos paquetes se renumeran comenzando en 0. Una analogía a este proceso es una llamada de teléfono en la que la conexión no es buena y se cuelga para llamar de nuevo.
- **Confirmación de rearranque.** El paquete de confirmación de rearranque confirma la petición de rearranque.
- **Petición de registro.** El paquete de petición de registro permite el registro en línea de nuevos usuarios a la red.
- **Confirmación de registro.** El paquete de confirmación de registro confirma el registro.

17.2. OTROS PROTOCOLOS RELACIONADOS CON X.25

Existen otros protocolos de la serie X relacionados con X.25. A continuación se describen algunos de ellos.

Protocolo X.121

Puesto que X.25 no define de forma explícita el tipo de direccionamiento global que se debería utilizar durante el establecimiento de una llamada para acceder a un DTE remoto (antes del establecimiento de un circuito virtual), ITU-T ha creado X.121 para direccionar de forma global los DTE conectados a una red pública o privada. La mayoría de las redes X.25 actuales utilizan el esquema de direccionamiento de X.121.

En la Figura 17.16 se muestra el formato de dirección compuesto de 14 dígitos. Los cuatro primeros dígitos, denominado **Código de identificación de red de datos (DNIC,** *Data Network Identification Code*), definen una red específica. Tres dígitos definen el país y un dígito define una red dentro del país. Los siguientes 10 dígitos se denominan número de terminal nacional (NTN, *National Terminal Number*) y definen los DTE de una red concreta.

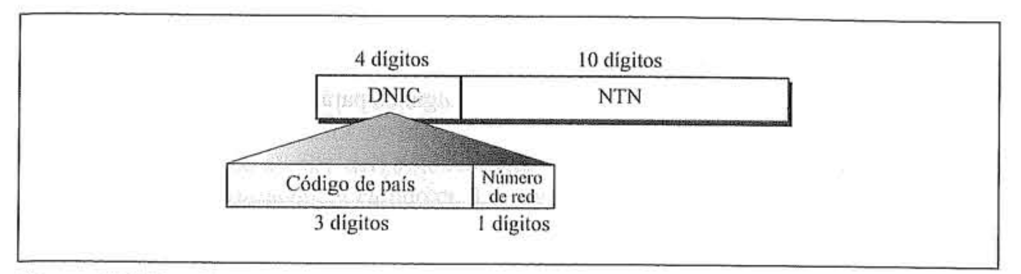


Figura 17.16. *Formato de dirección de X.121.*

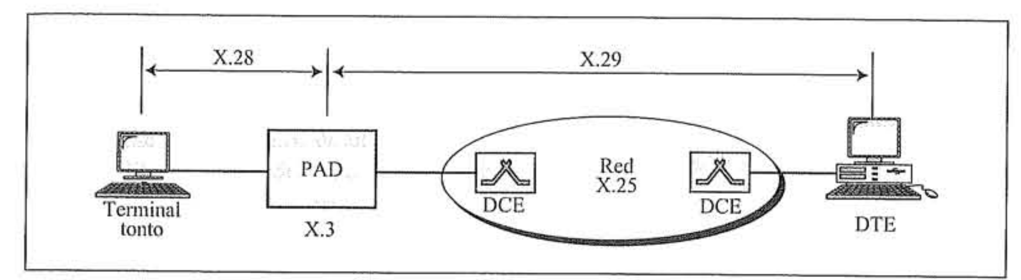


Figura 17.17. *Protocolos triple X.*

Protocolos triple X

Los protocolos X.3, X.28 y X.29 se denominan **protocolos triple X** y se utilizan para conectar un terminal tonto (en lugar de un DTE que puede entender el protocolo X.25) a una red X.25 (véase la Figura 17.17). A continuación se describe cada protocolo brevemente.

X.3

El protocolo X.3 define un **ensamblador/desensamblador de paquetes (PAD,** *Packet Assembler/Disassembler*). Se necesita un PAD para conectar un terminal orientado a caracteres a una red X.25. En un terminal, se pueden usar diferentes teclas que no se envían necesariamente por la red (como por ejemplo las flechas y las teclas de borrado). Un PAD almacena todos estos caracteres y los ensambla en paquetes X.25. Cuando un paquete llega de la red, el PAD los desensambla para que se puedan mostrar en la pantalla o imprimir en la impresora. X.3 define 22 parámetros que pueden ser utilizados por un PAD. Por ejemplo, un parámetro especifica que el PAD debería hacer un eco de los caracteres enviados desde el terminal al PAD.

X.28

El protocolo **X.28** define las reglas que gobiernan la comunicación entre un terminal tonto y un PAD. Define diferentes órdenes que se pueden utilizar en el terminal o en el PAD. Por ejemplo, se puede teclear una orden en un terminal tonto para solicitar el establecimiento de una conexión virtual entre el PAD y el DTE remoto.

X.29

El protocolo **X.29** define la relación que existe entre un PAD y un terminal remoto. Utilizando este protocolo, el terminal remoto puede enviar algunos parámetros en el PAD. Por ejemplo, el terminal remoto puede establecer el parámetro de eco en el PAD.

17.3. TÉRMINOS Y CONCEPTOS CLAVE

conmutación de paquetes	protocolo de nivel de paquetes (PLP)
ensamblador/desensamblador de paquetes (PAD)	protocolos triple X
identificador de circuito virtual	red de conmutación de paquetes
identificador de formato general (GFI)	X.121
identificador de tipo de paquete (PTI)	X.25
número de canal lógico (LCN)	X.28
procedimiento balanceado de acceso al enlace (LAPB)	X.29
	X.3

17.4. RESUMEN

- X.25 es una red de área amplia de conmutación de paquetes muy popular.
- El protocolo X.25 define los procedimientos para la transmisión de datos en un DTE y un DCE para el funcionamiento del terminal en modo de paquetes en redes de datos públicas.
- El protocolo X.25 define tres niveles: el nivel físico, el nivel de trama y el nivel de paquetes.
- El protocolo del nivel físico puede ser el X.21, el X.21bis, el EIA-232 u otros protocolos similares.
- LAPB es el protocolo utilizado por X.25 en el nivel de tramas para las funciones de control de enlace de datos.
- El nivel de paquetes gestiona el establecimiento de la conexión, la transferencia de datos, la terminación de la conexión, la creación del circuito virtual y la negociación de los servicios de red entre dos DTE.
- Existen tres tipos de paquetes en X.25: tramas I, tramas S y tramas U. La primera es un paquete de datos; las dos últimas son paquetes de control.
- Hay control de errores y de flujo en los niveles de tramas y de paquetes.
- El identificador de circuito virtual en X.25 se llama número de canal lógico (LCN).
- En X.25 se pueden utilizar conexiones PVC y SVC.
- El protocolo X.121 proporciona un método para direccionar globalmente un DTE conectado a un red pública o privada.
- Los protocolos triple X (X.3, X.28 y X.29) definen la conexión de un terminal sencillo a una red X.25.

17.5. MATERIAL PRÁCTICO

Preguntas de revisión

1. ¿Cuáles son los niveles del protocolo X.25? ¿Cómo se relacionan con el modelo OSI?
2. ¿En qué se diferencia el campo de dirección del nivel de trama del campo de dirección del protocolo HDLC?
3. Indique los tipos de tramas de X.25 y sus funciones principales.
4. ¿Qué fases del nivel de trama están involucradas en la comunicación entre un DTE y un DCE? ¿Qué tipos de tramas se encuentran asociadas con cada fase?
5. ¿Cómo maneja el control de errores y de flujo X.25? ¿Están involucrados todos los niveles?
6. ¿Qué es la señalización en banda?
7. ¿Cómo se asocian los paquetes con el circuito virtual por el que viajan?
8. ¿Cuál es el objetivo de un LCN?
9. ¿Qué tipos de circuitos virtuales utiliza X.25?
10. Indique los campos de una cabecera del paquete del protocolo PLP.
11. ¿Cuáles son los dos tipos de paquetes del protocolo PLP?
12. ¿Constan todos los paquetes de control de sólo un campo de cabecera? Muestre un ejemplo de un paquete de control con un campo que no sea una cabecera. Indique un ejemplo de un paquete de control que sólo tenga un campo de cabecera.
13. ¿Cuál es el objetivo del protocolo X.121?
14. ¿Cuál es el objetivo de los protocolos triple X?

Preguntas con respuesta múltiple

15. El protocolo X.25 utiliza _______ para la transmisión extremo a extremo.
    a. conmutación de mensajes
    b. conmutación de circuitos
    c. conmutación de paquetes basada en datagramas
    d. conmutación de paquetes basada en circuitos virtuales
16. El protocolo X.25 funciona en el _______ del modelo OSI.
    a. nivel físico
    b. nivel de enlace de datos
    c. nivel de red
    d. en todos los niveles
17. El protocolo de nivel físico especificado directamente por el protocolo X.25 es _______.
    a. RS-232
    b. X.21
    c. DB-15
    d. DB-37
18. El paquete del protocolo PLP es un producto del nivel _______ en el estándar X.25.
    a. físico
    b. de tramas
    c. de paquetes
    d. de transporte
19. El _______ del protocolo PLP se utiliza para transportar datos desde los niveles superiores en el estándar X.25.

a. paquete S
b. paquete de datos
c. paquete C
d. paquete P

20. Cuando no se necesitan enviar datos pero sí es necesario una confirmación, se utiliza el _______ del protocolo PLP.
   a. paquete S
   b. paquete de datos
   c. paquete de control
   d. paquete P
21. En el estándar X.25, el _______ del protocolo PLP se utiliza para el establecimiento de la conexión, la liberación de la conexión y otros objetivos de control.
   a. paquete S
   b. paquete de datos
   c. paquete de control
   d. paquete P
22. En el estándar X.25, si el bit _______ está puesto a 1, el DTE remoto debería confirmar el paquete.
   a. Q
   b. D
   c. M
   d. P
23. Si el bit _______ en el estándar X.25 está puesto a 1, significa que hay más de un paquete.
   a. Q
   b. D
   c. M
   d. P
24. El bit _______ del estándar X.25 permite al usuario definir el origen de la información de control.
   a. Q
   b. D
   c. M
   d. P
25. El protocolo X.25 requiere comprobación de errores en el nivel _______.
   a. físico
   b. de tramas
   c. de paquetes
   d. b y c
26. X.25 es un protocolo _______.
   a. UNI
   b. SNI
   c. NNI
   d. SSN
27. LAPB es un subconjunto de _______.
   a. HDLC
   b. ITU-T
   c. X.25
   d. DTE

28. El control de flujo y de errores en un enlace DTE-DCE está bajo la jurisdicción del _______.
   a. nivel físico
   b. nivel de tramas
   c. nivel de paquetes
   d. b y c
29. El control de flujo y de errores entre un enlace DTE-DTE está bajo la jurisdicción del _______.
   a. nivel físico
   b. nivel de tramas
   c. nivel de paquetes
   d. b y c
30. El LCN identifica el enlace entre el DTE _______, y el DCE local y entre el DTE _______ y el DCE remoto.
   a. remoto; local
   b. local; local
   c. remoto; remoto
   d. local; remoto
31. El campo _______ contiene un bit cualificador, un bit de entrega y dos bits de secuencia.
   a. GFI
   b. LCN
   c. PTI
   d. PTA
32. El campo _______ identifica el tipo de paquete del protocolo PLP.
   a. GFI
   b. LCN
   c. PTI
   d. PTA
33. La diferencia entre un paquete largo y uno corto se debe a la longitud del campo _______.
   a. LCN
   b. P(S)
   c. P(R)
   d. b y c
34. Un paquete del protocolo PLP no contiene un campo _______.
   a. P(S)
   b. P(R)
   c. LCN
   d. a o b

Ejercicios

35. En el protocolo X.121, ¿cuántos países puede definir el campo de dirección? ¿Cuántas redes pueden definirse en cada país? ¿Cuántos terminales (DTE) para cada red? ¿Cuántos terminales (DTE) en total?
36. Repita el ejercicio 35 si el primer dígito del código del país no puede ser 1 u 8 (reservados).
37. En el protocolo X.121, ¿qué ocurre si un país como los Estados Unidos tienen más de 10 redes X.25? ¿Qué sugiere?

38. Muestre el contenido de una trama SABM enviada desde un DTE a un DCE (véase el Capítulo 11). No tenga en cuenta el campo de información.
39. Muestre el contenido de una trama UA enviada en respuesta al ejercicio 38.
40. ¿Qué piensa que ocurrirá si un DTE envía una trama SABM a un DCE y luego no recibe una trama UA en respuesta?
41. Muestre el contenido de una trama DISC enviada desde un DTE a un DCE (véase el Capítulo 11). No tenga en cuenta el campo de información.
42. Muestre el contenido de la trama UA enviada en respuesta al ejercicio 41.
43. Muestre el contenido de una trama I que transporta un paquete de datos enviado de un DTE a un DCE.
44. Muestre el contenido de una trama S enviada en respuesta a la trama I del ejercicio 43. La trama S confirma la recepción de la trama I y anuncia que está listo para recibir más tramas.
45. Repita el ejercicio 44 si el DCE acepta la trama I, pero no puede aceptar más.
46. Repita el ejercicio 44 si el DCE descarta la trama I debido a un error.
47. Un DTE con una dirección X.121 44563141121312 quiere establecer una conexión con otro DTE con una dirección X.121 23113178121132. ¿La conexión se establece entre países distintos o dentro del mismo país? ¿Cuáles son los códigos de los países origen y destino? ¿Cuáles son los números de la red? ¿Cuáles son los números del terminal?
48. Un DTE envía un petición de llamada a su DCE local. ¿Qué dispositivo elige el LCN para la conexión entre el DTE local y el DCE local? ¿Cuál es el rango de este LCN? ¿Qué dispositivo elige el LCN para la conexión entre el DCE remoto y el DTE remoto? ¿Cuál es el rango de este LCN?

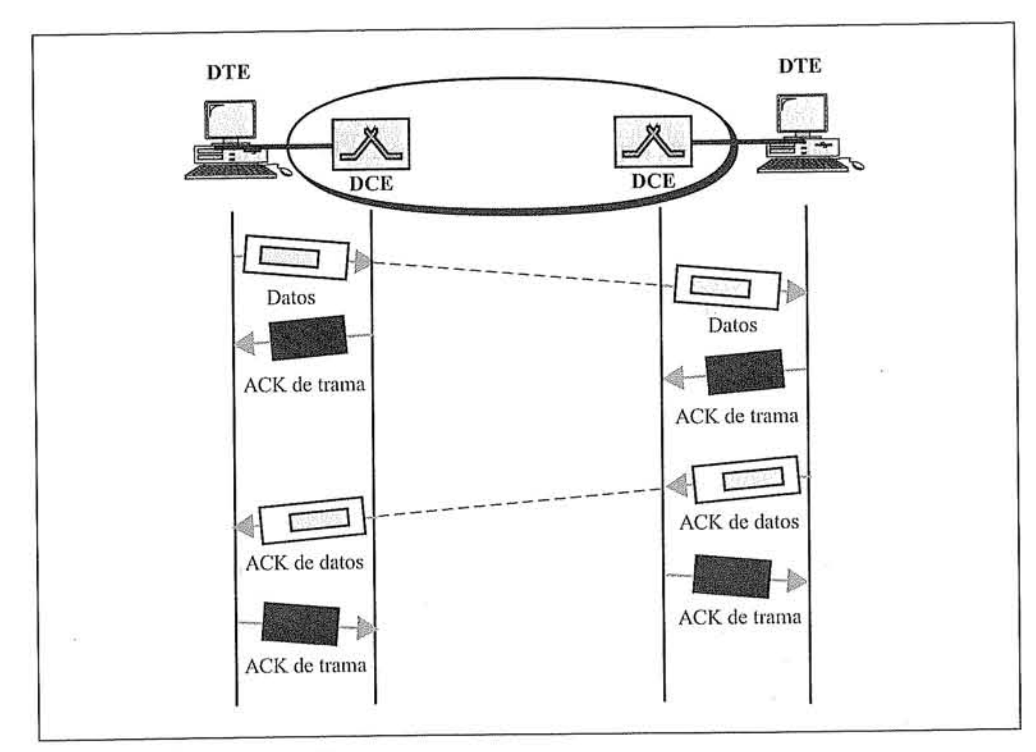


Figura 17.18. *Ejercicio 53.*

49. ¿Puede un DTE enviar un paquete de datos y de control que pertenecen a la misma conexión virtual utilizando dos LCN diferentes? ¿Cómo se interpreta esto en relación a que X.25 utiliza *señalización en banda* en el nivel de red?
50. ¿La multiplexación que se hace en X.25 en el nivel de red significa que dos paquetes diferentes que pertenecen a dos conexiones diferentes pueden transportarse en una trama? Razone su respuesta.
51. ¿Puede un paquete RR (en el nivel de red) ser encapsulado en una trama RR (en el nivel de enlace de datos)?
52. ¿Puede un paquete RR (en el nivel de red) ser encapsulado en una trama I (en el nivel de enlace de datos)?
53. En la Figura 17.18 indique el tipo de paquetes y tramas intercambiadas. Las cajas internas representan paquetes, y las externas, tramas.

CAPÍTULO 18

Frame Relay (Retransmisión de tramas)

18.1. INTRODUCCIÓN

Recientemente, la naturaleza de las demandas de la tecnología WAN ha cambiado drásticamente. Las tecnologías WAN anteriores, como X.25 o las líneas T, no daban respuesta a las necesidades de los usuarios. Los usuarios estaban buscando velocidades más altas, menor coste, una gestión eficaz de las transmisiones de datos a ráfagas y menor sobrecarga. **Frame Relay** (retransmisión de tramas) es una tecnología basada en circuitos virtuales que ofrece servicios de bajo nivel (niveles físico y de enlace de datos) que satisfacen las siguientes demandas:

- **Mayor velocidad a menor coste.** En el pasado, muchas organizaciones utilizaban tecnologías WAN como líneas alquiladas o X.25 para conectar computadoras. La velocidad de estas líneas era relativamente baja. Hoy en día, muchas organizaciones utilizan LAN de alta velocidad y quieren usar WAN para conectar estas LAN. Una solución es utilizar líneas T, pero estas líneas sólo ofrecen conexiones punto a punto. Por ejemplo, para conectar seis LAN se necesitan 15 líneas T. Por otro lado, sólo se necesitan seis líneas T para conectar las mismas seis LAN a una red Frame Relay. Frame Relay proporciona el mismo tipo de servicio a menor coste. La Figura 18.1 muestra la diferencia. Aunque Frame Relay se diseñó inicialmente para ofrecer velocidades de 1,544 Mbps (equivalente a una línea T-1), hoy en día, la mayoría de las implementaciones pueden ofrecer hasta 44,376 Mbps (equivalente a una línea T-3).
- **Datos a ráfagas.** Algunos servicios ofrecidos por proveedores de redes de área amplia asumen que los usuarios necesitan unas velocidades fijas. Por ejemplo, una línea T-1 está diseñada para un usuario que quiera utilizar una línea a una velocidad constante de 1,544 Mbps. Este tipo de servicio no es adecuado para muchos usuarios que necesitan enviar **datos a ráfagas.** Por ejemplo, un usuario puede querer enviar datos a 6 Mbps durante 2 segundos, 0 Mbps (nada) durante 7 segundos y 3,44 Mbps durante 1 segundo, dando un total de 15,44 Mbps durante un periodo de 10 segundos. Aunque la velocidad media es de 1,544 Mbps, la línea T-1 no puede aceptar este tipo de demanda debido a que está diseñada para tasas de datos fijas, pero no a ráfagas. Los datos a ráfagas requieren lo que se denomina **ancho de banda bajo demanda.** El usuario necesita diferentes anchos de banda en diferentes instantes. La Figura 18.2 muestra la diferencia entre datos a velocidad fija y datos a ráfagas. Frame Relay acepta datos a ráfagas. Un usuario tiene garantizado una velocidad media que se puede incrementar durante periodos a ráfagas.

Figura 18.1. *Frame Relay comparado con una red en malla con líneas T.*

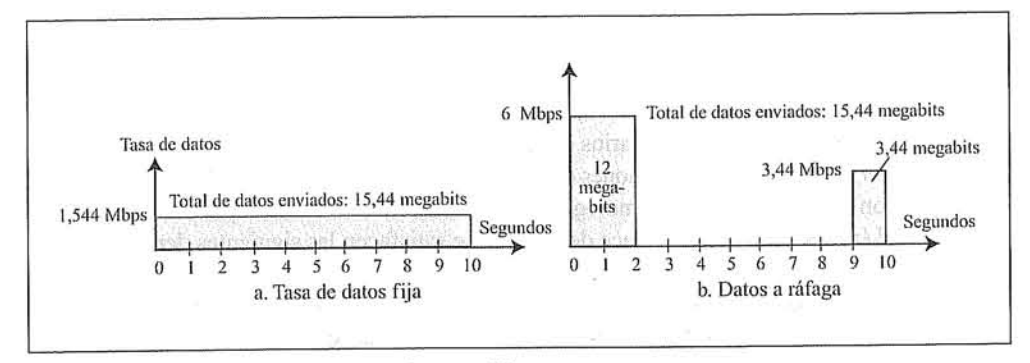


Figura 18.2. *Velocidad fija versus datos a ráfagas.*

- **Menor sobrecarga debido a la mejora del medio de transmisión.** La calidad de los medios de transmisión ha mejorado enormemente durante la última década. Estos medios son más fiables y menos propensos a errores. No hay necesidad de tener una WAN que gaste tiempo y recursos comprobando errores potenciales. X.25 proporciona un control de flujo y de errores muy amplio. Las tramas son comprobadas en cada estación (nodo) por las que se encaminan. Cada estación almacena una copia de la trama original hasta que recibe confirmación de la siguiente estación de que la trama ha llegado intacta. Esta comprobación estación en estación se implementa en el nivel de enlace de datos del modelo OSI. Pero X.25 no para aquí. También comprueba los errores desde el origen al receptor en el nivel de red. El origen mantiene una copia de la trama original hasta que recibe la confirmación del destino final. Gran parte del tráfico en X.25 se gasta en comprobación de errores y en asegurar una fiabilidad completa del servicio. La Figura 18.3 muestra el tráfico necesario para transmitir una trama desde el origen hasta el receptor. Las cajas blancas muestran los datos y las confirmaciones en el nivel de enlace de datos. Las cajas coloreadas muestran las confirmaciones en el nivel de red. Sólo una cuarta parte del tráfico está ocupado por datos; el resto se ocupa de la fiabilidad. Este excesivo tráfico era necesario cuando se introdujo X.25 debido a que los medios de transmisión eran más propensos a errores de lo que son hoy en día.

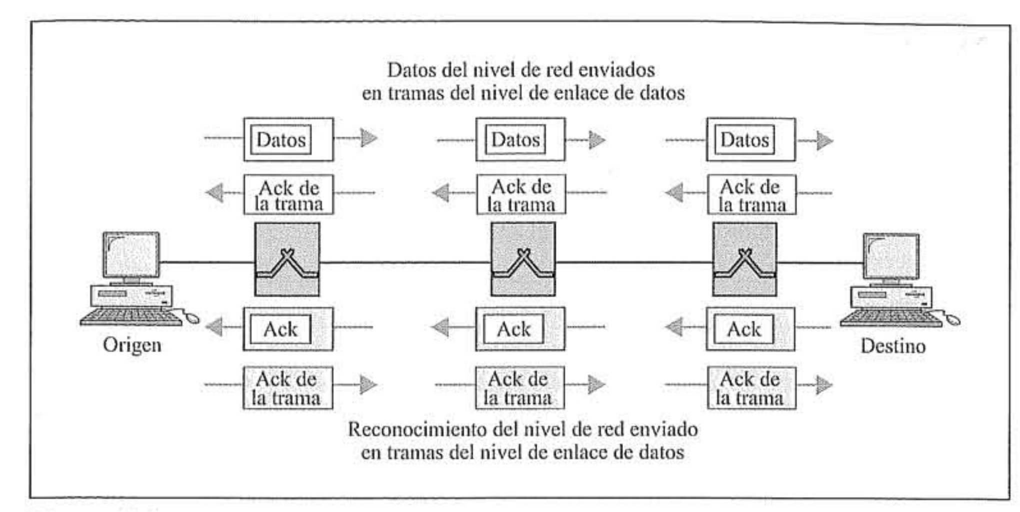


Figura 18.3. *Tráfico X.25.*

Por desagracia, toda esta sobrecarga consume ancho de banda y no puede, por tanto, ser utilizada para datos. Si el ancho de banda está limitado, la tasa de datos de la transmisión, que es proporcional al ancho del canal disponible, se reduce en gran medida. Además, el requisito de que cada estación deba almacenar una copia de la trama mientras espera la confirmación da lugar a otro cuello de botella en el tráfico reduciendo aún más la velocidad.

Las mejoras en los medios de transmisión tradicionales y un mayor uso de la fibra óptica, que es bastante menos susceptible al ruido que los cables metálicos, han reducido la probabilidad de los errores en las transmisiones hasta el punto de que este nivel de precaución no sólo es innecesario sino también contraproducente.

Frame Relay no ofrece comprobaciones de errores ni requiere confirmaciones en el nivel de enlace de datos. En su lugar, toda la comprobación de errores se deja a los protocolos de los niveles de red y de transporte, que utilizan los servicios de Frame Relay. (Frame Relay funciona solo en el nivel físico y en el nivel de enlace de datos.) Muchas operaciones del nivel de enlace de datos se han eliminado mientras que otras se han combinado. En vez de la situación compleja mostrada en la Figura 18.3, se ha simplificado la transmisión tal y como se muestra en la Figura 18.4.

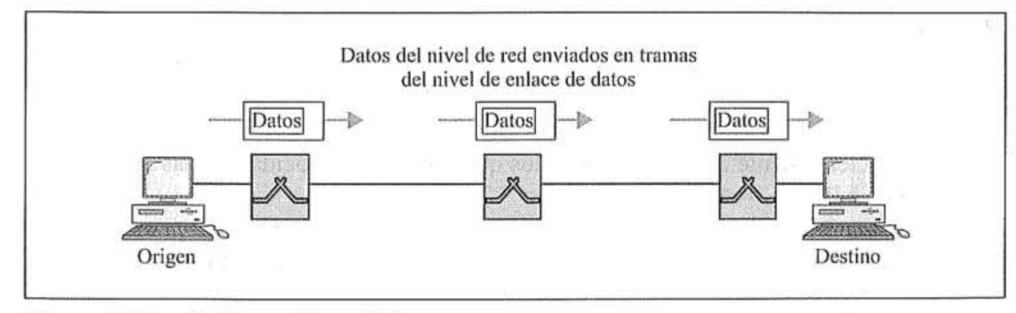


Figura 18.4. *Tráfico en Frame Relay.*

Tabla 18.1. *Comparación entre X.25 y Frame Relay*

Característica	*X.25*	*Frame Relay*
Establecimiento de la conexión	en el nivel de red	ninguna
Control de flujo y de errores salto a salto	en el nivel de enlace de datos	ninguno
Control de flujo y de errores extremo a extremo	en el nivel de red	ninguno
Tasa de datos	fija	a ráfagas
Multiplexación	en el nivel de red	en el nivel de enlace de datos
Control de congestión	no es necesario	necesario

Ventajas

Frame Relay presenta varias ventajas frente a otras redes de área amplia como X.25 o las línea T:

- Frame Relay ofrece mayores velocidades (1,544 Mbps y más recientemente 44,476 Mbps). Esto significa que puede fácilmente ser utilizada en lugar de las mallas de líneas T-1 o T-3.
- Frame Relay opera solo en el nivel físico y de enlace de datos. Esto significa que puede utilizarse fácilmente como red troncal para ofrecer servicios a protocolos que ya tienen un nivel de red. Por ejemplo, el protocolo TCP/IP (véase el Capítulo 24) ya dispone de un protocolo de nivel de red (IP). Si TCP/IP quiere utilizar los servicios de X.25, hay una duplicación en las funciones del nivel de red: X.25 tiene su propio nivel de red y TCP/IP también. No existe duplicación en el caso de emplear Frame Relay: TCP/IP utiliza su propio nivel de red y Frame Relay proporciona servicios en los niveles físico y de enlace de datos.
- Frame Relay permite datos a ráfagas. Los usuarios no necesitan adherirse a una velocidad fija como en el caso de X.25 o las líneas T.
- Frame Relay permite un tamaño de trama de 9.000 bytes, que puede acomodar las tramas de todas las redes de área local.
- Frame Relay es menos cara que otras WAN tradicionales.

Desventajas

Frame Relay no es perfecto. A pesar de su bajo coste, tiene algunas desventajas:

- Aunque algunas redes Frame Relay operan a 44,376 Mbps, esta velocidad no es suficientemente alta para protocolos que requieren velocidades más altas (como RDSI-BA).
- Frame Relay permite tramas de longitud variable. Esto puede crear retardos variables a diferentes usuarios. Un conmutador Frame Relay maneja una trama grande de un usuario y una trama pequeña de otro de la misma forma. Se almacenan en la misma cola si se van a encaminar por la misma interfaz de salida. El retardo de la trama pequeña que sigue a la grande puede ser diferente que el retardo de una trama pequeña que sigue a otra trama pequeña; se penaliza a los usuarios de tramas pequeñas.
- Debido a los retardos variables, que no están bajo el control del usuario, Frame Relay no es adecuada para enviar datos sensibles a los retardos como vídeo o audio de tiempo real. Por ejemplo, Frame Relay no es adecuada para teleconferencias.

Papel de Frame Relay

Para resumir, Frame Relay se puede utilizar como red troncal de área amplia de bajo coste para conectar redes de área local que no necesitan comunicaciones en tiempo real pero que pueden enviar datos a ráfagas. Además, hoy en día Frame Relay ofrece tanto conexiones permanentes como conmutadas. Un usuario que necesita una conexión permanente alquila la línea. Un usuario que necesita una conexión conmutada paga en función del uso que hace de la red.

18.2. FUNCIONAMIENTO DE FRAME RELAY

Frame Relay ofrece conexiones virtuales permanentes y conmutadas. Los dispositivos que conectan los usuarios a la red son DTE. Los conmutadores que encaminan las tramas por la red son DCE (véase la Figura 18.5). Frame Relay normalmente se utiliza como una WAN para conectar LAN o mainframes. En el primer caso, un dispositivo de encaminamiento o puente puede servir como el DTE y conectar, por medio de una línea alquilada, la LAN a un conmutador Frame Relay, que se considera un DCE. En el segundo caso, el mainframe se puede utilizar como un DTE con la instalación del *software* apropiado.

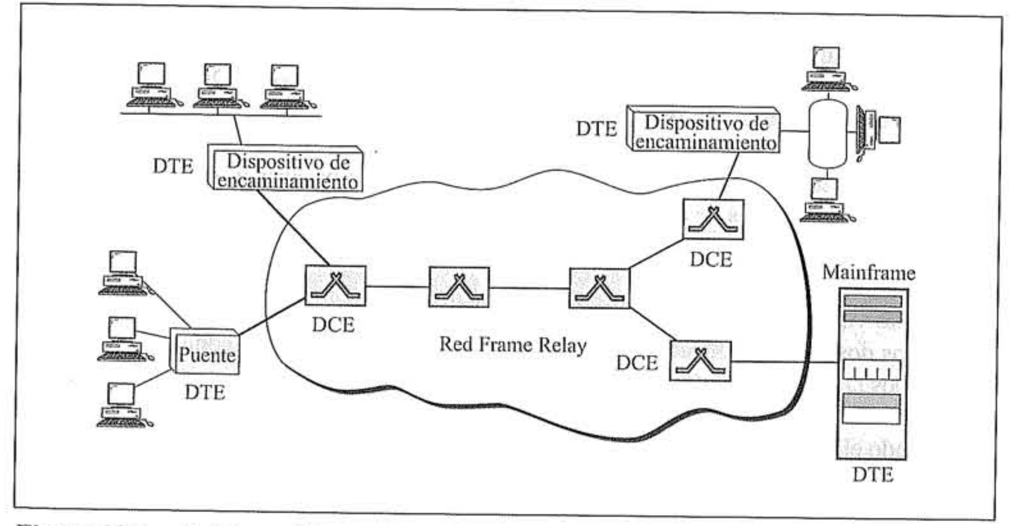


Figura 18.5. *Red Frame Relay.*

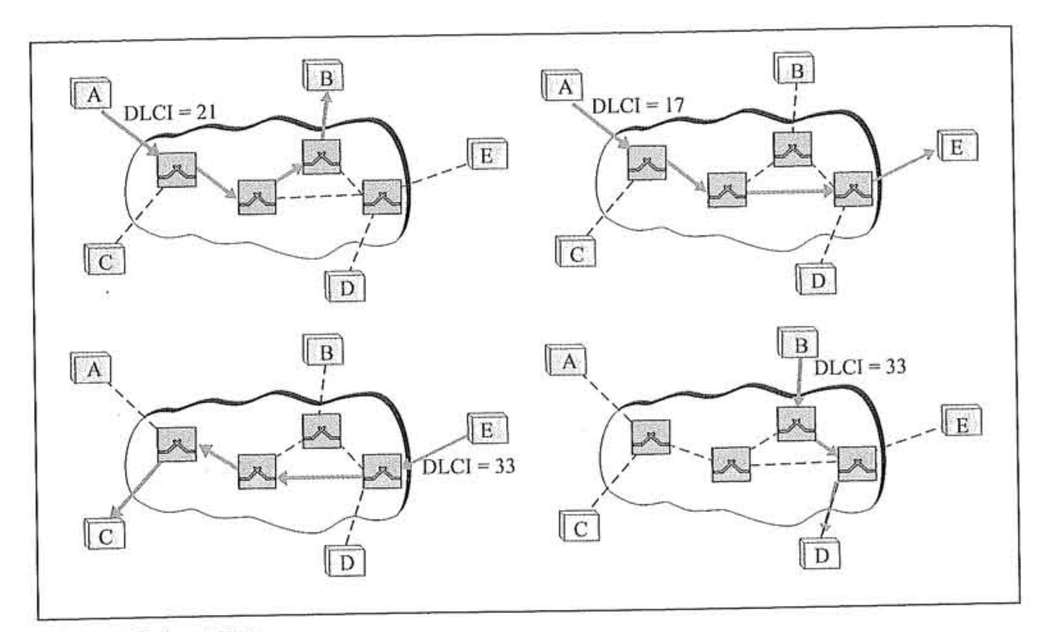


Figura 18.6. *DLCI.*

Circuitos virtuales

Frame Relay es una red basada en circuitos virtuales. No utiliza direcciones físicas para definir el DTE conectado a la red. Al igual que otras redes que emplean circuitos virtuales, emplea un identificador de circuito virtual. Sin embargo, los identificadores de circuitos virtuales en Frame Relay operan en el nivel de enlace de datos, a diferencia de X.25, que operan en el nivel de red.

Un identificador de circuito virtual en Frame Relay se identifica mediante un número denominado **identificador de conexión de enlace de datos (DLCI,** *Data Link Connection Identifier*). Cuando la red establece un circuito virtual, se da al DTE un número DLCI que puede utilizar para acceder al DTE remoto. El DTE local utiliza este DLCI para enviar tramas al DTE remoto. La Figura 18.6 muestra varios circuitos virtuales y sus DLCI. Observe que hay dos DLCI con valor 33. Estos números son válidos debido a que definen circuitos virtuales que se originan en DTE diferentes.

Para comprender cómo se asignan los DLCI a una conexión virtual, se va a describir en primer lugar los dos tipos de conexiones que existen en Frame Relay: PVC y SVC.

PVC

Un circuito virtual permanente (PVC) se establece entre dos DTE a través del proveedor de la red. Los dos DTE se conectan de forma permanente a través de una conexión virtual. Se asignan dos DLCI a las interfaces UNI de los dos extremos de la conexión, como se muestra en la Figura 18.7.

Cuando el DTE A quiere enviar una trama al DTE B, utiliza el DLCI 122. Cuando el DTE B quiere enviar una trama al DTE A, utiliza el DLCI 077. Observe que los DLCI tienen jurisdicción local y es posible que dos DTE (de forma accidental) tengan el mismo DLCI. Sin embargo, este no es normalmente el caso.

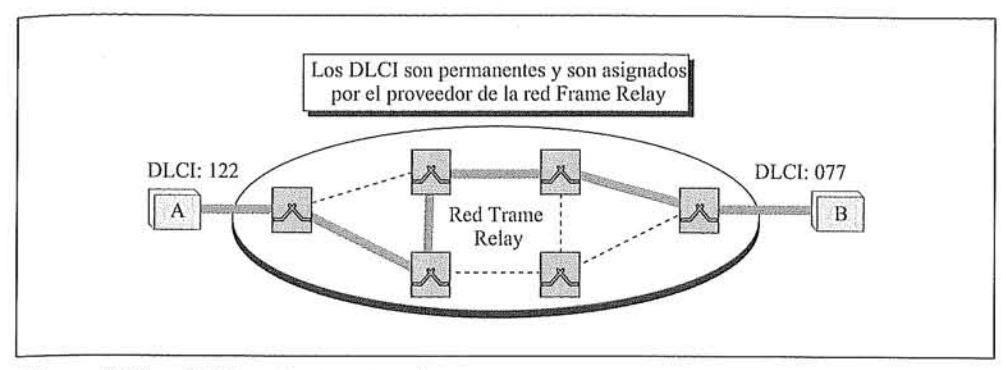


Figura 18.7. *DLCI en circuitos virtuales permanentes.*

Este tipo de conexión era el único posible en los primeros días de Frame Relay, pero actualmente los DTE también se pueden comunicar utilizando circuitos virtuales conmutados.

SVC

En un circuito virtual conmutado (SVC), cada vez que un DTE quiere establecer una conexión con otro DTE, se debería establecer un nuevo circuito virtual. ¿Cómo se hace? En este caso, Frame Relay no puede hacer solo el trabajo, sino que necesita los servicios de otro protocolo que tenga un nivel de red y direcciones de nivel de red (como RDSI o IP). El mecanismo de señalización de este otro protocolo realiza una petición de conexión utilizando las direcciones de nivel de red del DTE A y del DTE B. El mecanismo exacto depende del protocolo de nivel de red, pero la idea general se muestra en la Figura 18.8.

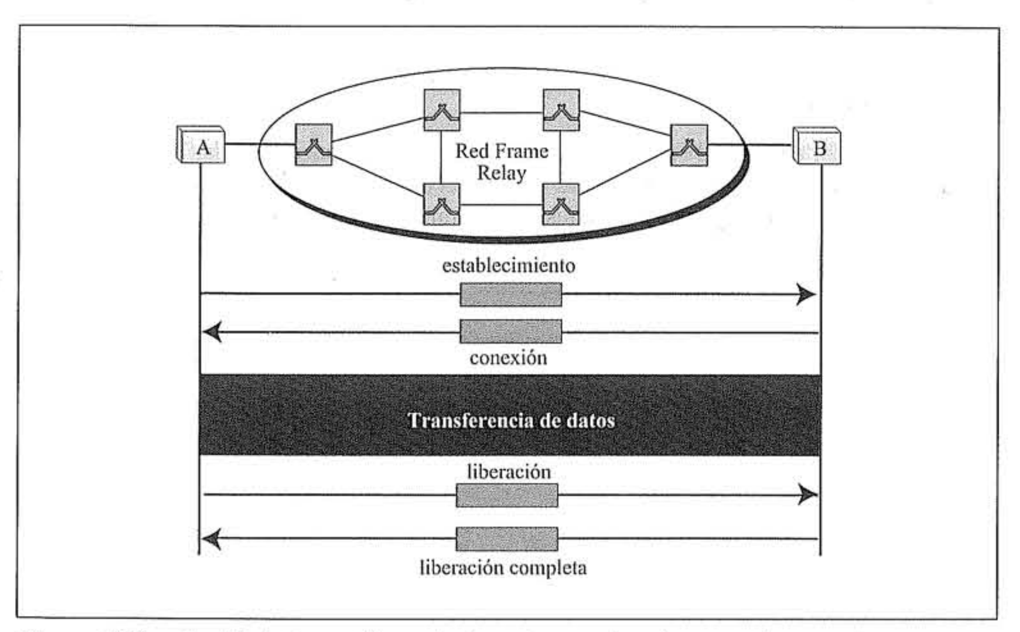


Figura 18.8. *Establecimiento y liberación de un circuito virtual conmutado.*

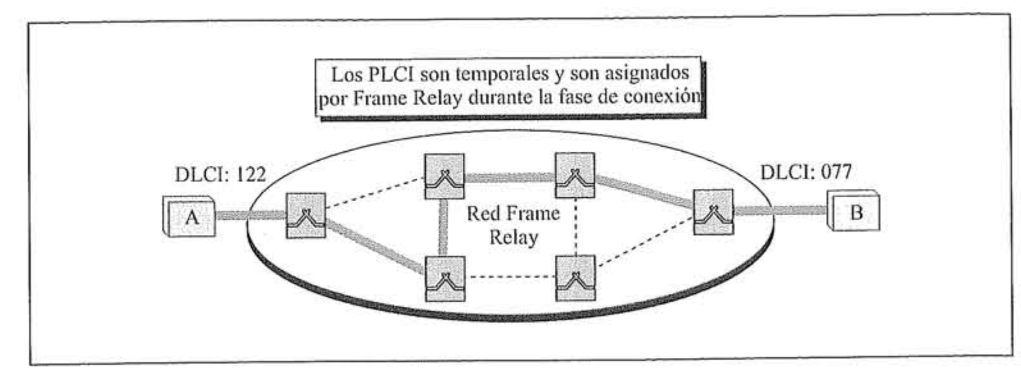


Figura 18.9. *DLCI en circuitos virtuales conmutados.*

El DTE local envía un mensaje SETUP (establecimiento) al DTE remoto, que responde con un mensaje CONNECT (conectar). Después de la fase de conexión, se establece el circuito virtual de forma que entre los dos DTE se puedan intercambiar datos. Cada uno de los dos DTE puede enviar un mensaje RELEASE (liberar) para finalizar la conexión. La Figura 18.9 muestra los DLCI en una conexión SVC.

DLCI dentro de la red

Los DLCI se asignan no solo para definir el circuito virtual entre un DTE y un DCE, sino también para definir un circuito virtual entre dos DCE (conmutadores) dentro de la red. Un conmutador asigna un DLCI a cada conexión virtual en una interfaz. Esto significa que dos conexiones distintas que pertenezcan a dos interfaces distintas pueden tener los mismos DLCI. En otras palabras, los DLCI son únicos sólo para una interfaz concreta. La Figura 18.10 muestra los DLCI dentro de una red.

Conmutadores

Cada conmutador en una red Frame Relay tiene una tabla para encaminar las tramas. La tabla empareja una combinación DLCI-interfaz de entrada con una combinación DLCI-interfaz de salida. Por ejemplo, la Figura 18.11 muestra dos tramas que llegan a la interfaz 1, una con

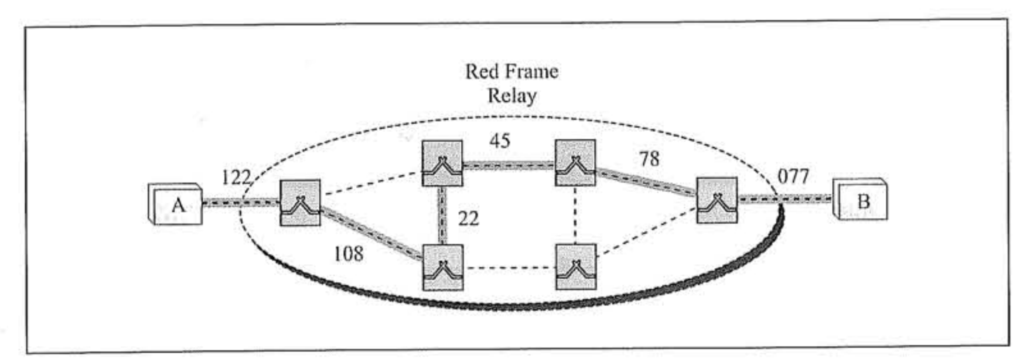


Figura 18.10. *DCLI dentro de una red.*

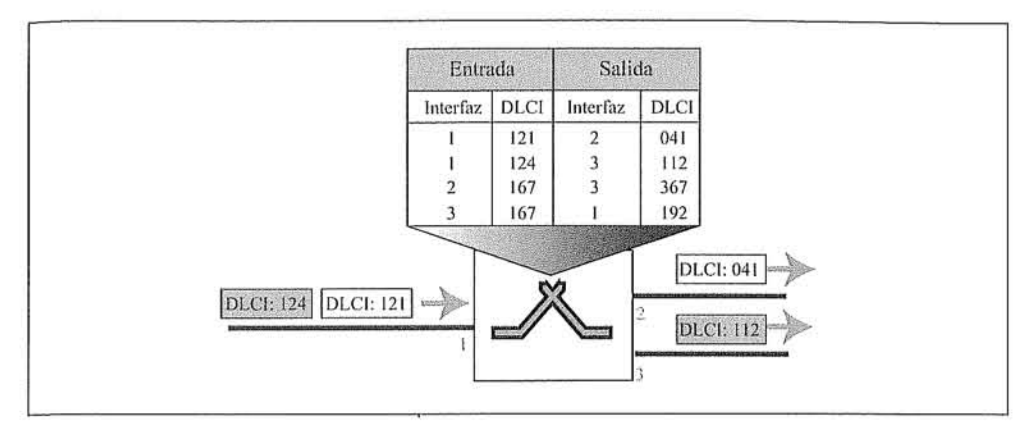


Figura 18.11. *Conmutación en Frame Relay.*

DLCI=121 y la otra con DLCI=124. La primera deja el conmutador por la interfaz 2, con el nuevo DLCI=041 (véase la fila 1 de la tabla) y la segunda deja el conmutador por la interfaz 3 con DLCI=112 (véase la fila 2 de la tabla).

18.3. NIVELES EN FRAME RELAY

La figura 18.12 muestra los niveles de Frame Relay. Frame Relay solo actúa en el nivel físico y nivel de enlace de datos.

> Frame Relay sólo actúa en el nivel físico y en el nivel de enlace de datos.

La Figura 18.13 compara los niveles de Frame Relay con los niveles convencionales de una red de conmutación de paquetes como X.25. Frame Relay sólo tiene 1,5 niveles mientras que X.25 tiene 3 niveles. Frame Relay elimina todas las funciones del nivel de red y parte de las funciones de un nivel de enlace de datos convencional.

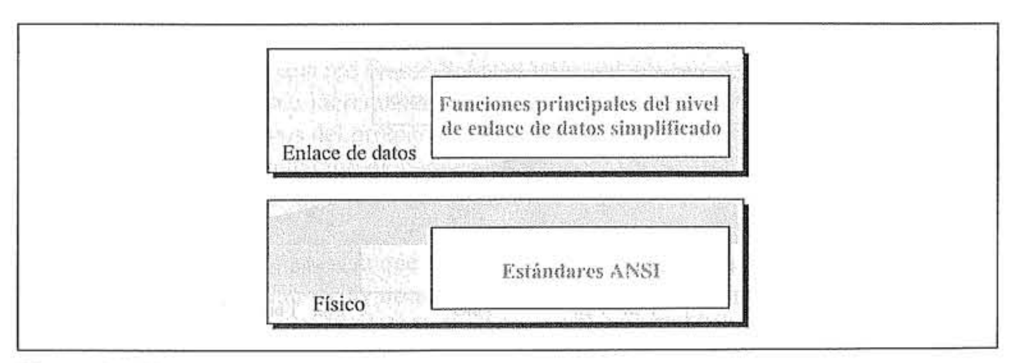


Figura 18.12. *Niveles de Frame Relay.*

Ofrecido por otros niveles
Ofrecido por Frame Relay
Enlace de datos
Físico
a. Frame Relay
Ofrecido por X.25
Nivel de red
Enlace de datos
Físico
b. X.25

Figura 18.13. *Comparación de los niveles de X.25 y Frame Relay.*

Nivel físico

No se ha definido ningún protocolo concreto para el nivel físico en Frame Relay. Se deja que el implementador utilice el que esté disponible. Frame Relay admite cualquiera de los protocolos reconocidos por ANSI.

Nivel de enlace de datos

En este nivel, Frame Relay emplea una versión simplificada de HDLC denominada LAPF central. Se utiliza la versión más sencilla debido a que HDLC proporciona campos de control de flujo de errores que no son necesarios en Frame Relay.

La Figura 18.14 muestra el formato de una trama en Frame Relay. La trama es similar a la utilizada en HDLC. En realidad, los campos delimitador, FCS y de información son los mismos. Sin embargo, no existe el campo de control. El campo de dirección define el DLCI, así como algunos bits utilizados para controlar la congestión y el tráfico.

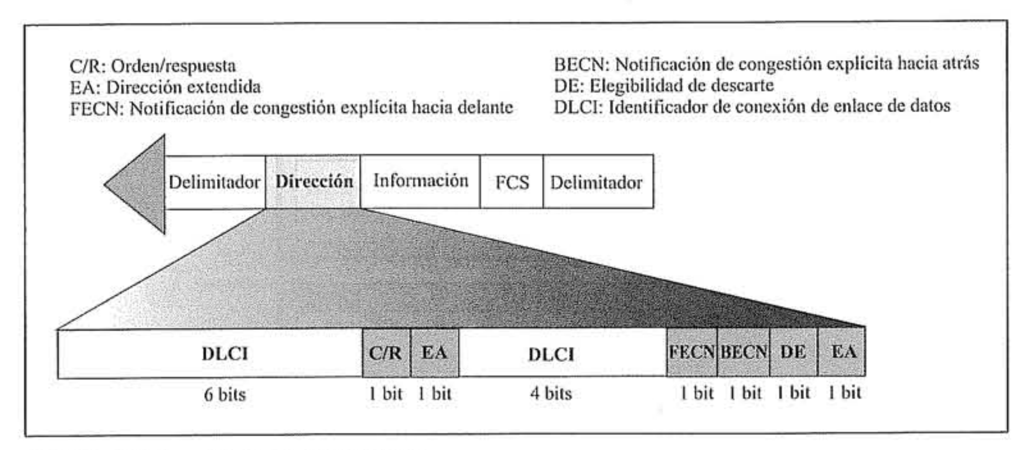


Figura 18.14. *Trama en Frame Relay.*

A continuación se describen de forma detallada los campos:

- **Campo de dirección (DLCI).** Los primeros seis bits del primer byte forman la primera parte del DLCI. La segunda parte del DLCI utiliza los cuatro primeros bits del segundo byte. Estos bits son parte del identificador de conexión de enlace de datos de 10 bits definido por el estándar. La función del DLCI se describió anteriormente. Al final del capítulo se describirá de forma más extensa el direccionamiento.
- **Orden/Respuesta (C/R,** *Command/Response*). El bit C/R permite a los niveles superiores identificar si la trama es una orden o una respuesta. No se utiliza en el protocolo Frame Relay.
- **Dirección extendida (EA,** *Extended Address*). Este bit indica si el byte actual es el byte final de la dirección o no. Si EA es 0, entonces indica que sigue otro byte de dirección. Si EA es 1, entonces el byte actual es el final.
- **Notificación de congestión explícita hacia adelante (FECN,** *Forward Explicit Congestion Notification*). Este campo es activado por cualquier conmutador para indicar que el tráfico se encuentra congestionado en la dirección por la que viaja la trama. Este bit informa al destino que hay congestión. Se describirá el uso de este bit cuando se trate el control de la congestión.
- **Notificación de congestión explícita hacia atrás (BECN,** *Backward Explicit Congestion Notification*). Este bit se activa para indicar que hay un problema de congestión en la dirección opuesta a la que viaja la trama. Este bit informa al emisor de que existe congestión. El uso de este bit se describirá más adelante cuando se trate el control de la cogestión.
- **Elegibilidad de descarte (DE,** *Discard Elegibility*). Este bit indica el nivel de prioridad de la trama. En situaciones de emergencia, los conmutadores pueden tener que descartar tramas para evitar los cuellos de botella y las sobrecargas que pueden colapsar la red. Cuando este bit está a 1, indica a la red que no descarte esta trama mientras haya otras tramas en el flujo con prioridades de 0. Este bit puede activarse en el emisor de las tramas (el usuario) o en cualquier conmutador de la red.

18.4. CONTROL DE CONGESTIÓN

La **congestión** en una red puede ocurrir si un usuario envía datos a la red a una tasa mayor de la que puede permitir los recursos de la red. Por ejemplo, la congestión puede ocurrir debido a que los conmutadores en una red tienen una tamaño de almacenamiento limitado para almacenar los paquetes que llegan antes de procesarlos.

La congestión en una red Frame Relay es un problema que debe ser evitado debido a que reduce el rendimiento e incrementa los retardos. Un alto rendimiento y un bajo retardo son los principales objetivos del protocolo Frame Relay.

Una red de conmutación de paquetes como X.25 utiliza control de flujo en el nivel de enlace de datos y en el nivel de red. El control de flujo en el nivel de red es extremo a extremo. El control de flujo en el nivel de enlace de datos se realiza entre dos nodos consecutivos. Ambos mecanismos previenen que los usuarios envíen demasiado tráfico a la red.

El protocolo Frame Relay no tiene nivel de red. Incluso en el nivel de enlace de datos, Frame Relay no utiliza control de flujo. Además, Frame Relay permite que el usuario envíe datos a ráfagas. Esto significa que una red Frame Relay tiene la posibilidad de congestionarse, por lo que necesita un **control de la congestión.**

Figura 18.15. *Notificación de congestión explícita hacia atrás (BECN).*

Elusión de congestión

Para **evitar la congestión,** Frame Relay utiliza dos bits de la trama para avisar de forma explícita al origen y al destino de la presencia de congestión.

Notificación de congestión explícita hacia atrás (BECN)

El bit de notificación de congestión explícita hacia atrás (BECN) avisa al emisor de que existe una situación de congestión en la red. La pregunta inmediata es cómo se puede hacer esto si las tramas parten del emisor. Existen dos métodos: el conmutador puede utilizar las tramas de respuesta del receptor (modo full-dúplex) o si no, el conmutador puede utilizar una conexión predefinida (DLCI=1023) para enviar tramas especiales para este propósito específico. El emisor puede responder a este aviso simplemente reduciendo la velocidad de transmisión. La Figura 18.15 muestra el empleo del BECN.

Notificación de congestión explícita hacia adelante (FECN)

El bit de notificación de congestión explícita hacia adelante (FECN) se utiliza para avisar al receptor de que existe congestión en la red. Podría parecer que el receptor no puede hacer nada para aliviar la congestión. Sin embargo, el protocolo Frame Relay asume que el emisor y el receptor se están comunicando utilizando algún tipo de control de flujo en un nivel superior. Por ejemplo, si existe un mecanismo de confirmación en este nivel superior, el receptor puede retrasar la confirmación, forzando de esta forma al emisor a ralentizarse. La Figura 18.16 muestra el uso de FECN.

Cuatro situaciones

Cuando dos DTE están comunicándose utilizando una red Frame Relay, existen cuatro situaciones relacionadas con la congestión. La Figura 18.17 muestra estas cuatro situaciones y los valores de FECN y BECN.

Descarte

Si los usuarios no responden a los avisos de congestión, la red Frame Relay tiene que descartar tramas. Qué tramas son descartadas forma parte del tema de la sección **control de tráfico.**

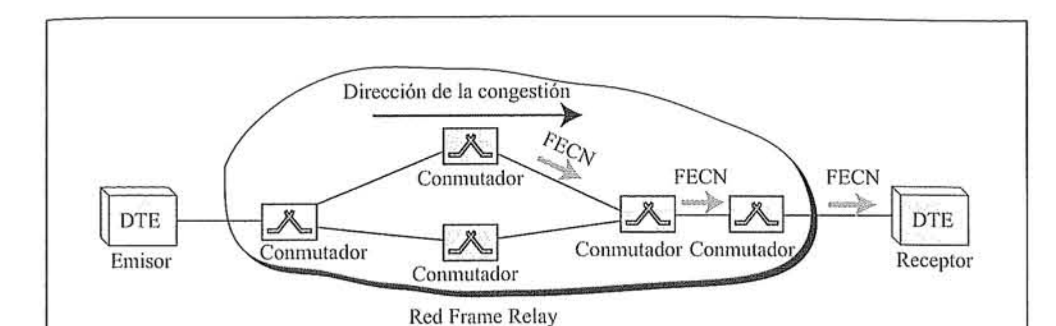


Figura 18.16. *Notificación de congestión explícita hacia adelante (FECN).*

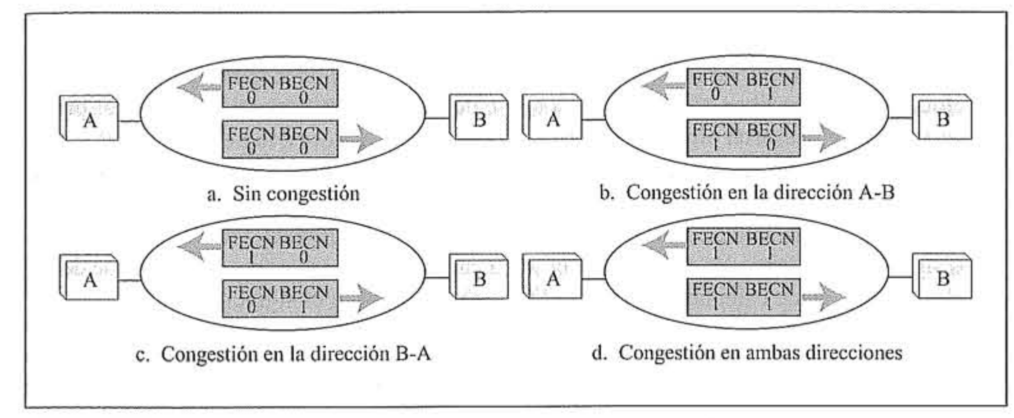


Figura 18.17. *Cuatro casos de congestión.*

A los usuarios se les avisa de la congestión de forma implícita cuando los protocolos de nivel superior (como el nivel de transporte) comprueban que algunas tramas no han alcanzado el destino. Es responsabilidad del emisor parar y permitir que la red se recupere de la situación de congestión y reenvíe las tramas descartadas.

18.5. ALGORITMO DEL CUBO CON ESCAPE

El funcionamiento de un conmutador en una red Frame Relay se puede simular mediante un «cubo con escape» (*leaky bucket*). Si un cubo tiene un pequeño agujero en su parte inferior, el agua deja el cubo a una velocidad constante mientras haya agua en el cubo. La velocidad con la que el agua deja el cubo no depende de la velocidad con la que el agua se introduce en él. La velocidad de entrada puede variar, pero la velocidad de salida permanece constante (véase la Figura 18.18).

Es obvio que, si entra más agua de la que sale, llegará el momento en el que el agua se saldrá del cubo. Esta misma situación ocurre en una red de conmutación de paquetes como

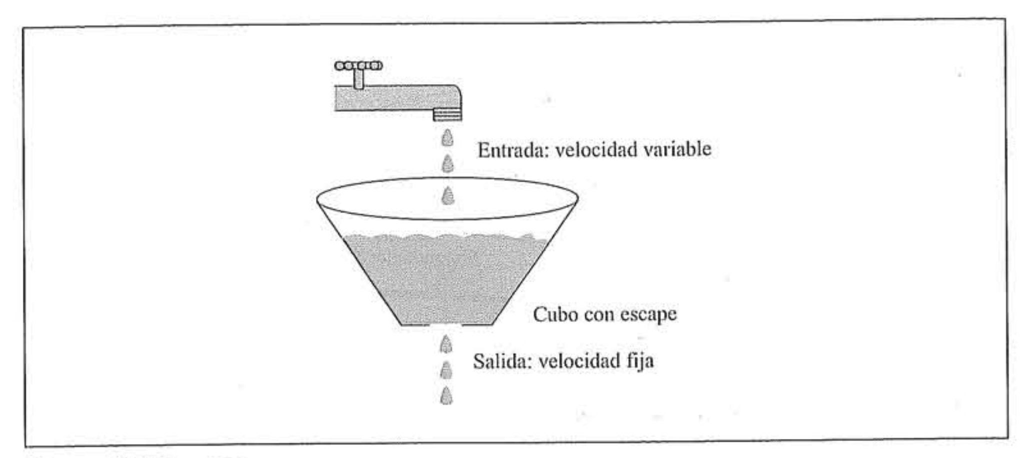


Figura 18.18. *Cubo con escape.*

Frame Relay que no emplea control de flujo. Cada conmutador puede enviar datos a una cierta velocidad. Si se reciben más datos de los que pueden transmitirse, el conmutador puede congestionarse y descartar algunas tramas.

¿De qué forma puede controlar el cubo con escape una entrada a ráfagas? Imagine que el agua está dejando el cubo a una velocidad de 2 litros por minuto. Si se tiene una ráfaga de entrada con una velocidad de 10 litros por minuto durante 12 segundos y no entra nada durante los siguientes 48 segundos, ¿cuál debería ser la capacidad del cubo para evitar que se derrame el agua? Se puede calcular la capacidad del cubo realizando el siguiente cálculo:

$$\text{Agua total durante la ráfaga} = 10 \times (12/60) = 2 \text{ litros}$$

Si la capacidad del cubo es de 2 litros, podrá contener toda el agua durante la ráfaga y dejará que se escape de forma continua durante un minuto. Observe que la capacidad puede ser ligeramente inferior a los 2 litros debido a que el agua está saliendo durante la duración de la ráfaga.

Esta misma idea se puede aplicar a cada interfaz de salida en cada conmutador de una red Frame Relay. La salida tiene una velocidad fija (1,544 Mbps, por ejemplo), mientras que la entrada puede ser a ráfagas. El conmutador puede utilizar una cola (buffer) a modo de cubo. Los datos a ráfagas se almacenan en la cola y se envían a una velocidad constante.

Por ejemplo, imagine un conmutador con una única cola de entrada y otra de salida. Si la interfaz de salida tiene una velocidad de 1,544 Mbps y la entrada puede recibir ráfagas de 40 Mbps durante 100 milisegundos (y no recibe nada hasta el siguiente segundo), ¿cuál debería ser el tamaño de la cola?

$$40 \text{ Mbps} \times (100/1.000) = 4 \text{ megabits}$$

La interfaz de salida debería tener una cola (buffer) de 4 millones de bits o, lo que es lo mismo, medio millón de bytes. La Figura 18.19 muestra el diseño.

Pero, ¿cómo se puede controlar la velocidad de salida de modo que sea inferior a la velocidad fija (por ejemplo de 1,544 Mbps) en una red de conmutación de paquetes donde el tamaño de cada paquete puede ser diferente? Se puede utilizar un contador y un reloj. En cada pulso de reloj (el comienzo de un segundo, por ejemplo), el contador se fija a la cantidad de datos que pueden ser sacados en cada pulso de reloj (normalmente en bytes). El algoritmo com-

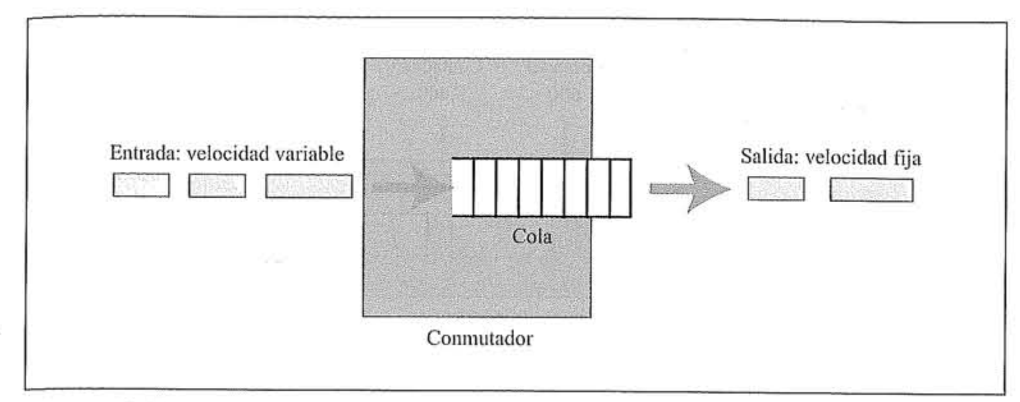


Figura 18.19. *Un conmutador que controla la velocidad de salida.*

prueba el tamaño de la trama situada en el frente de la cola. Si el tamaño es menor o igual que el valor de contador, se envía el paquete; si el tamaño es mayor que el valor de contador, el paquete se deja en la cola y espera al próximo pulso de reloj. La Figura 18.20 muestra el diagrama de flujo del **algoritmo del cubo con escape.**

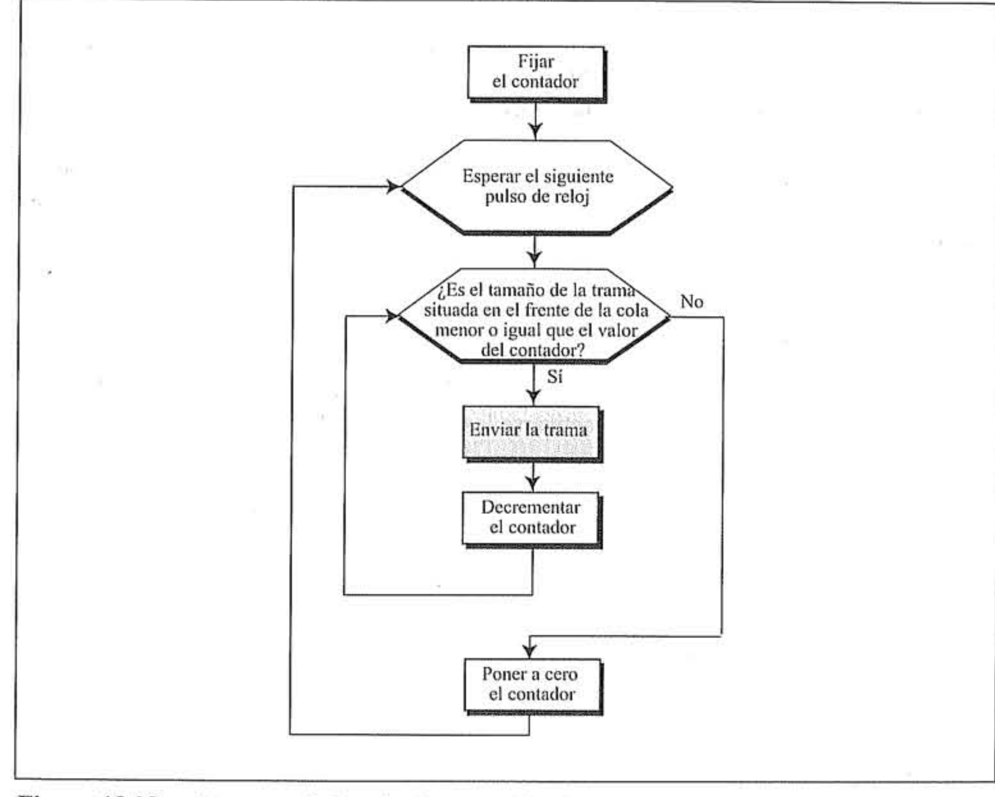


Figura 18.20. *Diagrama de flujo de algoritmo del cubo con escape.*

Figura 18.21. *Ejemplo del algoritmo del cubo con escape.*

Observe que para que este algoritmo funcione, el tamaño de la trama debería ser más pequeño que el valor del contador máximo.

La Figura 18.21 muestra un ejemplo. Considere que la velocidad de salida es de 80 Kbps. Esto significa 80.000 bits por segundo o 10.000 bytes por segundo. El contador se fija inicialmente a 10.000; después de enviar tres tramas, el valor del contador es 600, que es menor que el tamaño de las siguientes tramas. Las tres siguientes tramas no pueden ser enviadas. Tienen que esperar al siguiente pulso de reloj.

18.6. CONTROL DE TRÁFICO

Las estrategias de congestión requieren que Frame Relay realice medidas del control de tráfico para determinar cuándo deberían activarse los bits BECN, FECN y DE, así como cuándo debe descartarse una trama.

Se utilizan cuatro atributos diferentes para controlar el tráfico: velocidad de acceso, tamaño de la ráfaga comprometido, velocidad de información comprometida y tamaño de la ráfaga en exceso. Estos atributos se fijan durante la negociación entre el usuario y la red. Para conexiones PVC, se negocian sólo una vez; para conexiones SVC se negocian en cada conexión durante la fase de establecimiento de la conexión. La Figura 18.22 muestra las relaciones entre estas cuatro medidas.

Velocidad de acceso

Para cada conexión se define una **velocidad de acceso** (en bits/segundo). La velocidad de acceso realmente depende del ancho de banda del canal que conecta al usuario con la red. El

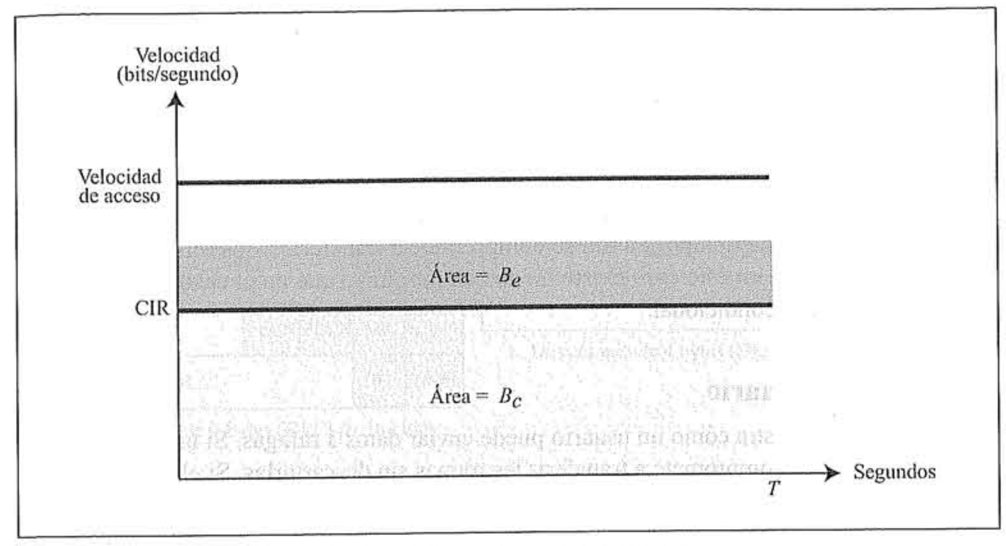


Figura 18.22. *Relaciones entre los atributos de control de tráfico.*

usuario no puede nunca exceder esta velocidad. Por ejemplo, si el usuario se conecta a una red Frame Relay mediante una línea T-1, la velocidad de acceso es de 1,544 Mbps y ésta no se puede sobrepasar.

Tamaño de ráfaga comprometido

Para cada conexión, Frame Relay define un **tamaño de ráfaga comprometido** ***(B_c).*** Este es el número máximo de bits durante un periodo predefinido de tiempo que la red se compromete a transferir sin descartar ninguna trama o activar el bit DE. Por ejemplo, si se compromete un valor para B_c de 400 kilobits durante un periodo de cuatro segundos, el usuario puede enviar hasta 400 kilobits durante un intervalo de cuatro segundos sin preocuparse de que se pierdan tramas. Observe que no se trata de una velocidad definida para cada segundo. Es una medida acumulativa. El usuario puede enviar 300 Kilobits durante el primer segundo, ningún dato durante los dos siguientes segundos y finalmente 100 kilobits durante el cuarto segundo.

Velocidad de información comprometida

La **velocidad de información comprometida** (**CIR**, *Commited Information Relay*) es similar al concepto de tamaño de ráfaga comprometido excepto que define una velocidad media en bits por segundo. Si el usuario mantiene esta velocidad, la red se compromete a entregar las tramas. Sin embargo, debido a que es una medida media, un usuario puede enviar en algunos instantes datos a una velocidad mayor al CIR. Siempre que se cumpla la media para el periodo predefinido, las tramas serán entregadas.

El número acumulativo de bits enviados durante el periodo predefinido no debería exceder de B_c. Observe que el CIR no es una medida independiente; se puede calcular utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{CIR} = B_c / T \text{ bps}$$

Por ejemplo, si el B_c es de cinco kilobits en un periodo de cinco segundos, el CIR es 5.000/5 = 1 Kbps.

Tamaño de ráfaga en exceso

Para cada conexión, Frame Relay define un **tamaño de ráfaga en exceso (B_e)**. Este valor es el número máximo de bits, que pueden exceder a B_c, que un usuario puede enviar durante un periodo predefinido de tiempo. La red se compromete a transferir estos bits si no hay congestión. Observe que en este caso existe menos compromiso que en el caso de B_c. El compromiso de la red es condicional.

Velocidad del usuario

La Figura 18.23 muestra cómo un usuario puede enviar datos a ráfagas. Si un usuario nunca excede B_c, la red se compromete a transferir las tramas sin descartarlas. Si el usuario excede el valor de B_c en menos que B_e (es decir, el número total de bits es menor que $B_c + B_e$), la red se compromete a transferir todas las tramas si no hay congestión. Si existe congestión, algunas tramas serán descartadas. El primer conmutador que recibe las tramas del usuario tiene un contador y fija el bit DE para aquellas tramas que excedan el valor B_c. El resto de conmutadores descartarán estas tramas si hay congestión. Observe que un usuario que necesita enviar datos más rápido puede exceder el nivel B_c. Siempre que el nivel no supere $B_c + B_e$, existe la posibilidad de que las tramas alcancen el destino sin ser descartadas. Recuerde, sin embargo, que en el momento en el que el usuario supere $B_c + B_e$, todas las tramas enviadas después son descartadas por el primer conmutador.

18.7. OTRAS CARACTERÍSTICAS

A continuación se describen brevemente algunas otras características de Frame Relay.

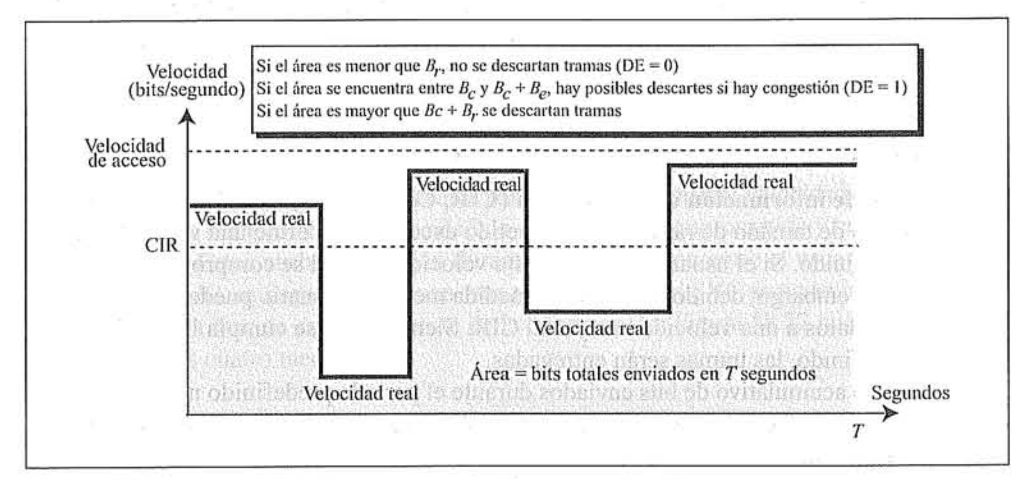


Figura 18.23. *Velocidad del usuario en relación con* B_c *y* $B_c + B_e$.

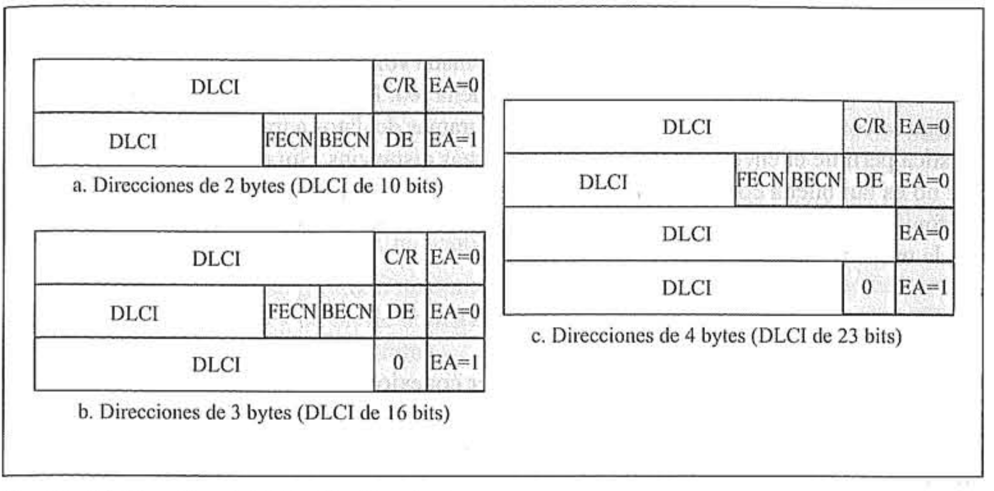


Figura 18.24. *Tres formatos de direcciones.*

Direcciones ampliadas

Para incrementar el rango de DLCI, las direcciones en Frame Relay han sido ampliadas desde las direcciones originales de dos bytes a direcciones de tres o cuatro bytes. La Figura 18.24 muestra las diferentes direcciones. Observe que el campo EA define el número de bytes; es 1 en el último byte de la dirección y 0 en el resto de bytes. Observe que en los formatos de tres y cuatro bytes, el bit anterior al último bit se pone a 0.

Ensamblador/desensamblador en Frame Relay

Para manejar las tramas que llegan de otros protocolos, Frame Relay utiliza un dispositivo denominado **ensamblador/desensamblador en Frame Relay (FRAD,** *Frame Relay Assembler/Disassembler*). Un FRAD ensambla y desemsabla las tramas que vienen de otros protocolos para que puedan ser transportadas en tramas Frame Relay. Un FRAD se puede implementar como un dispositivo diferente o como parte de un conmutador. Así, la Figura 18.25 muestra dos FRAD conectados a una red Frame Relay.

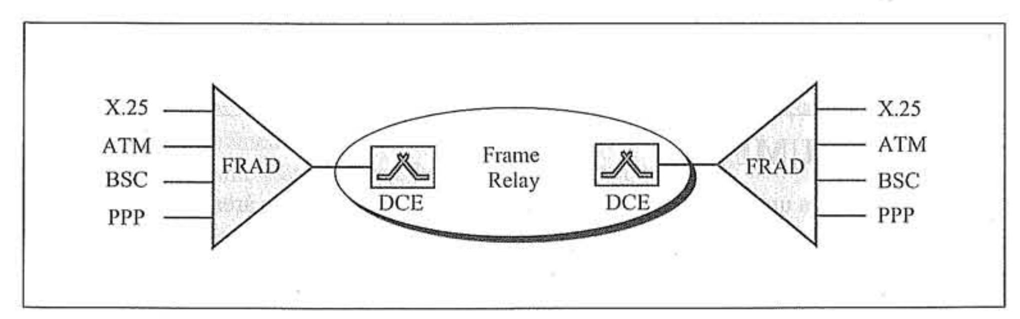


Figura 18.25. *Ensamblador/desemsablador en Frame Relay (FRAD).*

Voz a través de Frame Relay

La redes Frame Relay ofrecen una opción denominada **voz a través de Frame Relay (VOFR,** *Voice over Frame Relay*) que envía voz a través de la red. La voz se digitaliza utilizando PCM y luego se comprime. El resultado es enviado en tramas de datos a través de la red. Esta característica permite el envío barato de voz entre largas distancias. Sin embargo, la calidad de la voz no es tan buena como la obtenida en una red de conmutación de circuitos como la red telefónica. Además, el retardo variable mencionado anteriormente en algunas ocasiones afecta a la transmisión de voz en tiempo real.

Información de gestión local

Frame Relay se diseñó inicialmente para ofrecer conexiones PVC. No había, por tanto, ninguna provisión para controlar y gestionar interfaces. La **información de gestión local (LMI,** *Local Management Information*) es un protocolo añadido recientemente a Frame Relay para ofrecer más características de gestión. En concreto, LMI puede proporcionar:

- Un mecanismo «estás vivo» para comprobar el flujo de datos.
- Un mecanismo de radiado para permitir que un DTE local pueda enviar tramas a más de un DTE remoto.
- Un mecanismo que permite a un DTE comprobar el estado de un DCE (por ejemplo, para ver si el DCE se encuentra congestionado).

18.8. TÉRMINOS Y CONCEPTOS CLAVE

algoritmo del cubo con escape
ancho de banda bajo demanda
congestión
control de congestión
control de tráfico
datos a ráfagas
elegibilidad de descarte (DE)
elusión de congestión
ensamblador/desensamblador Frame Relay (FRAD)
Frame Relay
identificador de conexión de enlace de datos (DLCI)
información de gestión local (LMI)
notificación de congestión explícita hacia adelante (FECN)
notificación de congestión explícita hacia atrás (BECN)
tamaño de ráfaga comprometido (Bc)
tamaño de ráfaga en exceso (Be)
velocidad de acceso
velocidad de información comprometida (CIR)
voz a través de Frame Relay (VOFR)

18.9. RESUMEN

- Frame Relay es una tecnología de bajo coste que conecta redes de área local.
- Frame Relay puede manejar datos a ráfagas.
- Frame Relay elimina la amplia corrección de errores necesaria en el protocolo X.25.
- Frame Relay puede utilizar conexiones PVC y SVC.

- El identificador de conexión de enlace de datos (DLCI) identifica un circuito virtual en Frame Relay.
- Frame Relay opera en el nivel físico y de enlace de datos del modelo OSI.
- En el nivel de enlace de datos, Frame Relay utiliza una versión simplificada del protocolo HDLC.
- En Frame Relay, el encaminamiento y la conmutación son funciones del nivel de enlace de datos. Se conmutan tramas, no paquetes.
- El control de flujo se gestiona mediante un bit de notificación de congestión explícita hacia atrás (BECN) y un bit de notificación de congestión explícita hacia atrás (FECN) del campo de dirección de la trama.
- El algoritmo del cubo con escape es un modelo para la transmisión de tramas en un conmutador. La cola transmite los bits a una velocidad fija mientras que los bits entran en la cola a una velocidad variable.
- El tráfico en Frame Relay depende de cuatro factores: velocidad de acceso, tamaño de ráfaga comprometida, velocidad de la información comprometida y tamaño de ráfaga en exceso.

18.10. MATERIAL PRÁCTICO

Preguntas de revisión

1. ¿Cómo se controla el flujo en Frame Relay?
2. ¿Cómo se utilizan los ensambladores/desensambladores Frame Relay (FRAD) en una troncal Frame Relay?
3. Indique algunas de las ventajas de Frame Relay sobre X.25.
4. ¿Cómo se retransmite una trama en Frame Relay?
5. Compare el formato de una trama en el protocolo HDLC con una trama en el protocolo Frame Relay. ¿Qué campos no existen en la trama del protocolo Frame Relay? ¿Qué campos se han añadido a la trama del protocolo Frame Relay?
6. ¿Por qué se ha eliminado totalmente el campo de control de la trama HDLC en Frame Relay?
7. HDLC tiene tres tipos de tramas (tramas I, tramas S y tramas U). ¿Cuál se corresponde con la trama en Frame Relay?
8. ¿Es necesario una ventana deslizante en el protocolo Frame Relay?
9. ¿Por qué no hay números de secuencia en Frame Relay?
10. ¿Se pueden conectar dos dispositivos a una red Frame Relay utilizando los mismos DLCI?
11. ¿Por qué Frame Relay es una mejor solución para conectar LAN que las línea T-1?
12. ¿Cómo se definen los datos a ráfagas?
13. ¿Por qué Frame Relay no es adecuado para comunicación en tiempo real como las teleconferencias?
14. Compare una conexión SVC con una PVC.
15. Describa el nivel físico en Frame Relay.
16. ¿Qué tiene que ver el bit DE con la congestión?
17. ¿De qué manera informa el bit BECN al emisor de la congestión en la red?

18. ¿De qué manera informa el bit FECN al receptor de la congestión en la red?
19. ¿La velocidad de salida en un conmutador Frame Relay es fija? ¿Por qué sí o por qué no?
20. ¿Cómo se relacionan el tamaño de ráfaga comprometido con la velocidad de información comprometida?
21. ¿Cuál es la función del bit EA en el campo de dirección?

Preguntas con respuesta múltiple

22. Frame Relay requiere comprobación de errores en el nivel _____.
    a. físico
    b. enlace de datos
    c. de red
    d. ninguno de los anteriores
23. Frame Relay opera en _____.
    a. el nivel físico
    b. el nivel de enlace de datos
    c. el nivel físico y de enlace de datos
    d. en los niveles físico, de enlace de datos y de red
24. En el nivel de enlace de datos, Frame Relay utiliza _____.
    a. el protocolo BCS
    b. una versión simplificada del protocolo HDLC
    c. LAPB
    d. cualquier protocolo estándar de ANSI
25. ¿Qué bit del campo de dirección en Frame Relay se pone a 1 para indicar que es el último byte de la dirección?
    a. elegibilidad de descarte (DE)
    b. dirección extendida (EA)
    c. orden/respuesta (C/R)
    d. notificación de congestión explícita hacia adelante (FECN)
26. ¿Qué bit del campo de dirección en Frame Relay determina si se puede eliminar una trama en caso de emergencia?
    a. elegibilidad de descarte (DE)
    b. dirección extendida (EA)
    c. orden /respuesta (C/R)
    d. notificación de congestión explícita hacia adelante (FECN)
27. El encaminamiento y la conmutación se realizan en Frame Relay en el nivel _____.
    a. físico
    b. de enlace de datos
    c. de red
    d. b y c
28. ¿Qué campo contiene la dirección del circuito virtual permanente en Frame Relay?
    a. EA
    b. FECN/BECN
    c. DE
    d. DLCI
29. La velocidad de datos para una red Frame Relay puede ser como mucho de _____ Mbps.
    a. 1,544
    b. 3,88
    c. 44,376
    d. 60
30. ¿Cuál es factor que contribuye a reducir la sobrecarga de Frame Relay en comparación con X.25?
    a. mayor velocidad de datos
    b. modo full-dúplex
    c. redes de conmutación de paquetes
    d. no hay confirmaciones
31. Los datos a ráfagas se permiten en_____.
    a. una red Frame Relay
    b. una red X.25
    c. una línea T
    d. todas las anteriores
32. Frame Relay no es adecuado para _____ debido a los posibles retardos en la transmisión como consecuencia de las tramas con tamaño variable.
    a. vídeo de tiempo real
    b. transferencias de archivos
    c. comunicación de datos a velocidad fija
    d. todas las anteriores
33. Si una red Frame Relay se utiliza como una WAN, el conmutador Frame Relay se puede considerar como un _____ y el dispositivo de encaminamiento que conecta la LAN al conmutador Frame Relay se puede considerar como un _____.
    a. DTE; DCE
    b. DTE; DTE
    c. DCE; DTE
    d. DCE; DCE
34. Frame Relay ofrece conexiones _____.
    a. PVC
    b. SVC
    c. DLCI
    d. a y b
35. En X.25 el identificador de circuito virtual opera en el nivel _____; en Frame Relay el identificador de circuito virtual opera en el nivel _____.
    a. enlace de datos; físico
    b. red; enlace de datos
    c. red; físico
    d. enlace de datos; red
36. El bit FECN informa al _____ de la congestión mientras que el bit BECN informa al _____ de la congestión.
    a. destino; interfaz
    b. destino; emisor
    c. emisor; destino
    d. interfaz; emisor
37. En una red Frame Relay que conecta el DTE A con el DTE Z, existe congestión en la dirección A a Z. Una trama que viaja de A a Z debería tener el bit FCEN y el bit BECN_____.

a. activado; activado
b. activado; desactivado
c. desactivado; activado
d. desactivado; desactivado

38. B_c cuando se añade a B_e, debería ser menor que _____.
a. CIR
b. la velocidad de acceso
c. el tamaño de la ráfaga comprometido
d. a y b

39. ¿Cuál es la relación que existe entre la velocidad de acceso y el CIR?
a. CIR siempre es igual a la velocidad de acceso
b. CIR es mayor que la velocidad de acceso
c. CIR es menor que la velocidad de acceso
d. CIR más B_e es igual a la velocidad de acceso

40. Una red Frame Relay se compromete a transferir _____ bits por segundo sin descartar ninguna trama.
a. B_c
b. B_e
c. CIR
d. a y b

41. B_c es ____ que B_e para un periodo de tiempo especificado
a. siempre mayor
b. siempre menor
c. siempre igual
d. ninguno de los anteriores

42. En Frame Relay la velocidad de transmisión nunca puede exceder a _____.
a. B_c
b. B_e
c. el CIR
d. la velocidad de acceso

43. Una red Frame Relay se compromete a transferir un máximo de _____ bits en un periodo de tiempo especificado si no hay congestión.
a. B_c
b. B_e
c. B_c+B_e
d. ninguna de las anteriores

44. El campo de dirección en Frame Relay tiene _____ de longitud.
a. cuatro bytes
b. dos bytes
c. tres bytes
d. cualquiera de las anteriores

45. Un dispositivo llamado ____ permite que los paquetes de una red ATM sean transmitidos a través de una red Frame Relay.
a. LMI
b. VOFR
c. FRAD
d. DLCI

46. _____ es un protocolo que controla y gestiona las interfaces en redes Frame Relay.
a. LMI
b. VOFR
c. FRAD
d. DLCI

47. ____ es una opción de Frame Relay que transmite voz a través de la red.
a. LMI
b. VOFR
c. FRAD
d. DLCI

Ejercicios

48. El campo de dirección en una trama Frame Relay es 1011000100010110. ¿Cuál es el DLCI (en decimal)?
49. El campo de dirección en una trama Frame Relay es 1011000100010110. ¿Existe congestión hacia adelante? ¿Existe congestión en el sentido contrario?
50. El campo de dirección en una trama Frame Relay es 1011001000101110. ¿Será descartada esta trama si existe congestión?
51. El campo de dirección de una trama Frame Relay es 101100000101001. ¿Es válida?
52. Determine el valor DLCI si los tres primeros bytes recibidos son 7C 74 E1 en hexadecimal.
53. Determine el valor del campo de dirección de dos bytes en hexadecimal si el DLCI es 178. Considere que no hay congestión.
54. Una trama viaja del DTE A al DTE B. Existe congestión en el sentido de A a B. ¿Se encuentra activado el bit FECN? ¿Se encuentra activado el bit BECN?
55. Una trama viaja del DTE B al DTE A. Hay congestión en el sentido A a B. ¿Se encuentra activado el bit FECN? ¿Se encuentra activado el bit BECN?
56. Una trama viaja del DTE A al DTE B. Hay congestión en ambos sentidos ¿Se encuentra activado el bit FECN? ¿Se encuentra activado el bit BECN?
57. En un cubo con escape, ¿cuál debería ser la capacidad del cubo si la velocidad de salida es de 5 litros por minuto y hay una ráfaga de entrada de 100 litros por minuto durante 12 segundos y no hay entrada durante 48 segundos?
58. Una interfaz de salida en un conmutador se ha diseñado utilizando el algoritmo del cubo con escape para enviar 8.000 bytes por segundo (pulso de reloj). Si se reciben las siguientes tramas en secuencia, muestre la(s) trama(s) que se envían durante cada segundo.
Tramas 1, 2, 3, 4: 4.000 bytes cada una
Tramas 5, 6, 7: 3.200 bytes cada una
Tramas 8, 9: 400 bytes cada una
Tramas 10, 11, 12: 2.000 bytes cada una
59. Un usuario se conecta a una red Frame Relay mediante una línea T-1. El CIR garantizado es de 1 Mbps con un B_c de 5 millones de bits durante 5 segundos y B_e de un millón de bits por segundo durante 5 segundos. Responda a las siguientes preguntas:
a. ¿Cuál es la velocidad de acceso?
b. ¿Puede enviar el usuario datos a 1,6 Mbps?
c. ¿Puede enviar el usuario datos a 1 Mbps todo el tiempo? ¿Se garantiza que las tramas no serán descartadas en este caso?

d. ¿Puede el usuario enviar datos a 1,2 Mbps todo el tiempo? ¿Se garantiza que las tramas no serán descartadas en este caso? Si la respuesta es no, ¿se garantiza que las tramas solo se descartarán si existe congestión?
e. Responda a la pregunta anterior para una velocidad constante de 1,4 Mbps.
f. ¿Cuál es la velocidad máxima de datos que un usuario puede utilizar todo el tiempo sin preocuparse de que las tramas se descarten?
g. Si el usuario quiere arriesgarse, ¿cuál es la máxima velocidad de datos que se puede utilizar sin posibilidad de descarte en caso de que no haya congestión?

60. En el Ejercicio 59, el usuario envía datos a 1,4 Mbps durante dos segundos y nada durante los tres siguientes segundos. ¿Existe peligro de descartes si no hay congestión? ¿Hay peligro de descarte si hay congestión?
61. En la Figura 18.26 se establece una conexión virtual entre el DTE A y el DTE B. Muestre el DLCI para cada enlace.
62. En la Figura 18.27 se establece una conexión virtual entre el DTE A y el DTE B. Muestre las entradas correspondientes en las tablas de cada conmutador.

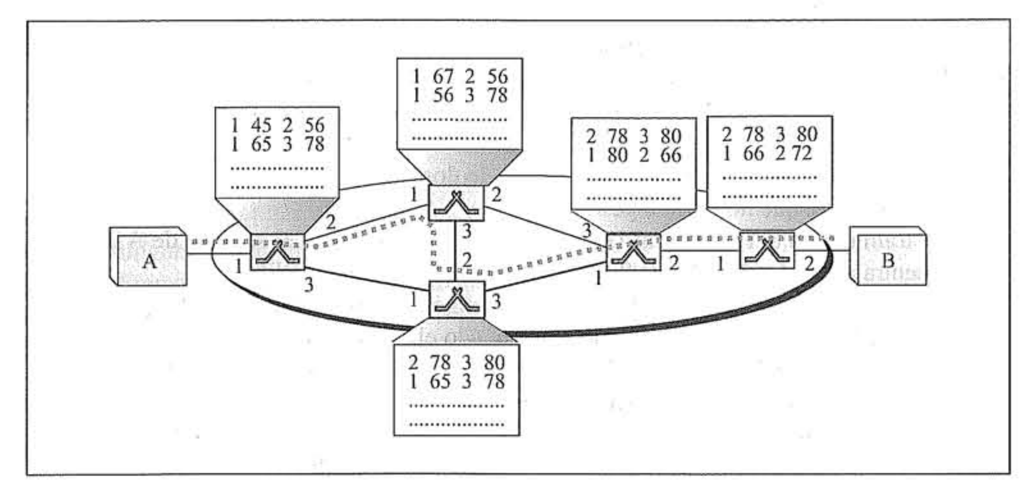


Figura 18.26. *Ejercicio 61.*

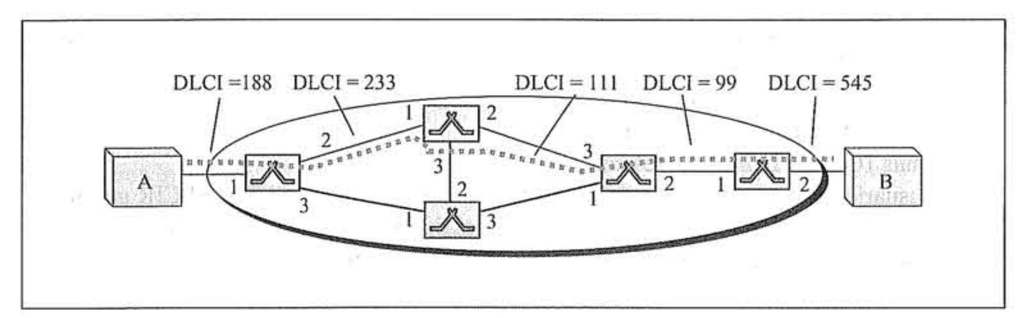


Figura 18.27. *Ejercicio 62.*

CAPÍTULO 19

ATM

El **modo de transferencia asíncrono (ATM,** *Asynchronous Transfer Mode*) es el protocolo de **retransmisión de celdas** diseñado por el Foro de ATM y adoptado por la ITU-T. La combinación de ATM y RDSI-BA permitirá la interconexión de alta velocidad para todas las redes del mundo. De hecho, ATM puede verse como la «autopista» de la superautopista de la información.

19.1. OBJETIVOS DE DISEÑO

Entre los retos a los que se enfrentaron los diseñadores de ATM, destacaron seis. El primero y más importante fue la necesidad de un sistema de transmisión que optimizara el uso de los medios de transmisión de datos de alta velocidad, como por ejemplo la fibra óptica. Además de ofrecer mayores anchos de banda, los nuevos equipos y medios de transmisión son bastante menos susceptibles a la degradación por causa del ruido. Se necesitaba una tecnología que sacara partido de ambos factores y de ese modo maximizara la tasa de datos.

En segundo lugar era necesario un sistema que pudiera interactuar con los sistemas existentes, como las diversas redes de paquetes, y ofrecer una interconectividad de área amplia entre ellas sin reducir su efectividad o requerir su sustitución. ATM es potencialmente tan efectiva en una LAN y en mecanismos de transporte corto como lo es en una WAM. Sus defensores esperan que en algún momento sustituya a los sistemas existentes. Hasta que eso ocurra, sin embargo, el protocolo proporciona mecanismos para proyectar los paquetes y tramas de otros sistemas a celdas de ATM.

En tercer lugar era necesario un diseño que no fuera caro de implementar de forma que el coste no resultara una barrera para su adopción. Si ATM se va a convertir en la troncal de las comunicaciones internacionales, como es su propósito, debe estar disponible a bajo precio a todos los usuarios que lo quieran.

En cuarto lugar, el nuevo sistema debe ser capaz de admitir y funcionar con las jerarquías de telecomunicaciones existentes (bucles locales, proveedores locales, portadores de largas distancias, etc.).

En quinto lugar, el nuevo sistema debe ofrecer un servicio orientado a conexión para asegurar una entrega precisa y predecible.

Por último, pero no menos importante, un objetivo es desplazar tantas funciones como sean posibles al *hardware* (para aumentar la velocidad) y eliminar tantas funciones del *software* como sean posibles (de nuevo para aumentar la velocidad).

d. ¿Puede el usuario enviar datos a 1,2 Mbps todo el tiempo? ¿Se garantiza que las tramas no serán descartadas en este caso? Si la respuesta es no, ¿se garantiza que las tramas solo se descartarán si existe congestión?
e. Responda a la pregunta anterior para una velocidad constante de 1,4 Mbps.
f. ¿Cuál es la velocidad máxima de datos que un usuario puede utilizar todo el tiempo sin preocuparse de que las tramas se descarten?
g. Si el usuario quiere arriesgarse, ¿cuál es la máxima velocidad de datos que se puede utilizar sin posibilidad de descarte en caso de que no haya congestión?

60. En el Ejercicio 59, el usuario envía datos a 1,4 Mbps durante dos segundos y nada durante los tres siguientes segundos. ¿Existe peligro de descartes si no hay congestión? ¿Hay peligro de descarte si hay congestión?
61. En la Figura 18.26 se establece una conexión virtual entre el DTE A y el DTE B. Muestre el DLCI para cada enlace.
62. En la Figura 18.27 se establece una conexión virtual entre el DTE A y el DTE B. Muestre las entradas correspondientes en las tablas de cada conmutador.

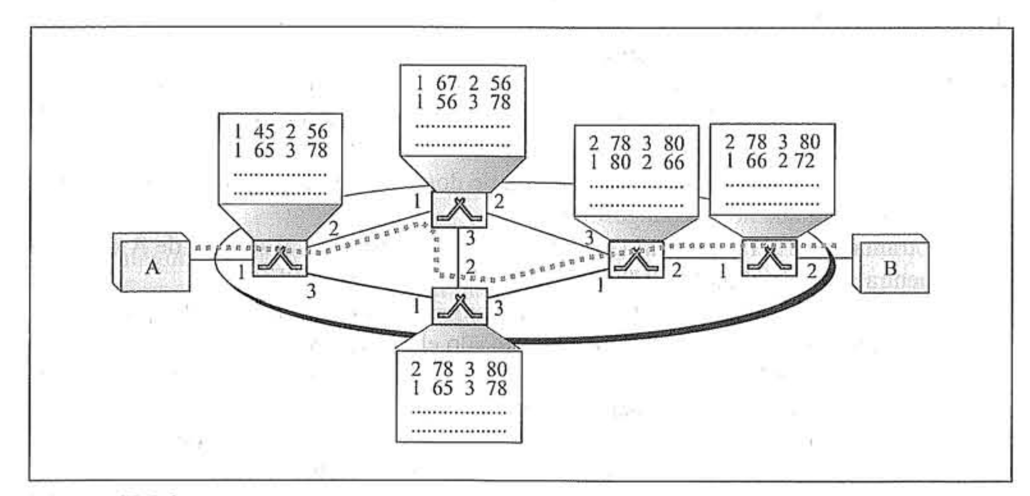


Figura 18.26. *Ejercicio 61.*

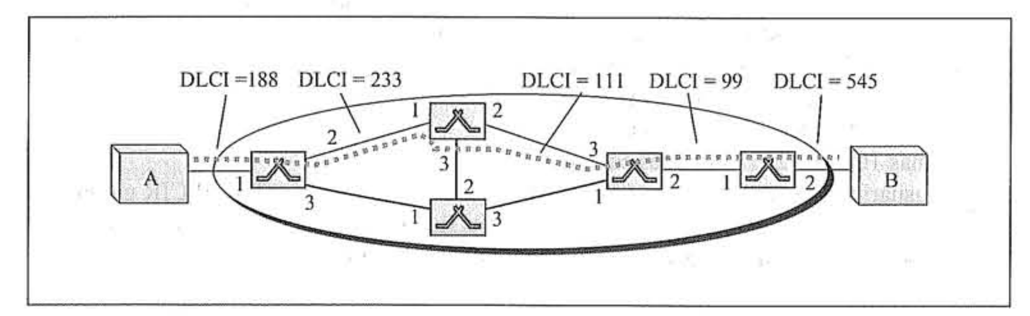


Figura 18.27. *Ejercicio 62.*

CAPÍTULO 19
ATM

El **modo de transferencia asíncrono (ATM,** *Asynchronous Transfer Mode*) es el protocolo de **retransmisión de celdas** diseñado por el Foro de ATM y adoptado por la ITU-T. La combinación de ATM y RDSI-BA permitirá la interconexión de alta velocidad para todas las redes del mundo. De hecho, ATM puede verse como la «autopista» de la superautopista de la información.

19.1. OBJETIVOS DE DISEÑO

Entre los retos a los que se enfrentaron los diseñadores de ATM, destacaron seis. El primero y más importante fue la necesidad de un sistema de transmisión que optimizara el uso de los medios de transmisión de datos de alta velocidad, como por ejemplo la fibra óptica. Además de ofrecer mayores anchos de banda, los nuevos equipos y medios de transmisión son bastante menos susceptibles a la degradación por causa del ruido. Se necesitaba una tecnología que sacara partido de ambos factores y de ese modo maximizara la tasa de datos.

En segundo lugar era necesario un sistema que pudiera interactuar con los sistemas existentes, como las diversas redes de paquetes, y ofrecer una interconectividad de área amplia entre ellas sin reducir su efectividad o requerir su sustitución. ATM es potencialmente tan efectiva en una LAN y en mecanismos de transporte corto como lo es en una WAM. Sus defensores esperan que en algún momento sustituya a los sistemas existentes. Hasta que eso ocurra, sin embargo, el protocolo proporciona mecanismos para proyectar los paquetes y tramas de otros sistemas a celdas de ATM.

En tercer lugar era necesario un diseño que no fuera caro de implementar de forma que el coste no resultara una barrera para su adopción. Si ATM se va a convertir en la troncal de las comunicaciones internacionales, como es su propósito, debe estar disponible a bajo precio a todos los usuarios que lo quieran.

En cuarto lugar, el nuevo sistema debe ser capaz de admitir y funcionar con las jerarquías de telecomunicaciones existentes (bucles locales, proveedores locales, portadores de largas distancias, etc.).

En quinto lugar, el nuevo sistema debe ofrecer un servicio orientado a conexión para asegurar una entrega precisa y predecible.

Por último, pero no menos importante, un objetivo es desplazar tantas funciones como sean posibles al *hardware* (para aumentar la velocidad) y eliminar tantas funciones del *software* como sean posibles (de nuevo para aumentar la velocidad).

Antes de presentar las soluciones a estos requisitos de diseño, es útil examinar algunos de los problemas asociados con los sistemas existentes.

En ATM, algunas funciones *software* se han desplazado al *hardware*; esto puede incrementar la tasa de datos.

Redes de paquetes

Las comunicaciones de datos actualmente están basadas en redes de paquetes y de conmutación de paquetes. Como se explicó en el Capítulo 14, un paquete es una combinación de datos y bits de sobrecarga que pueden encaminarse por la red como una unidad autocontenida. Los bits de sobrecarga extra, en la forma de una cabecera y una cola, actúan como un sobre que proporciona información de identificación y direccionamiento, así como los datos requeridos para el encaminamiento, el control de flujo, el control de errores, etc.

Los protocolos existentes utilizan paquetes que varían en tamaño y complejidad. A medida que las redes se hacen más complejas, la información que debe ser transportada en la cabecera se hace mayor. Esto da lugar a cabeceras cada vez mayores en relación con el tamaño de la unidad de datos. En respuesta a esto, algunos protocolos han incrementado el tamaño de la unidad de datos para hacer un uso de la cabecera más eficiente (enviar más datos con el mismo tamaño de cabecera). Por desgracia, los campos de datos grandes crean un gasto. Si no hay mucha información que transmitir, gran parte del campo no se utiliza. Para mejorar la utilización, algunos protocolos proporcionan a los usuarios tamaños de paquetes variables. Ahora tenemos paquetes de hasta 65.545 bytes compartiendo enlaces de largas distancias con paquetes de menos de 200 bytes.

Tráfico de red mixto

Como puede imaginar, tamaños de paquetes variables hacen que el tráfico sea impredecible. Los conmutadores, los multiplexores y los dispositivos de encaminamiento deben incorporar elaborados sistemas *software* para manejar los diversos tamaños de paquetes. Debe leerse una gran cantidad de información de la cabecera y cada bit debe ser contado y evaluado para asegurar la integridad de cada paquete. La interconexión entre redes de paquetes diferentes es lenta y cara en el mejor de los casos, e imposible en el peor.

Otro problema es la entrega de datos a velocidad constante cuando el tamaño de los paquetes es impredecible y puede variar enormemente. Para optimizar la tecnología de banda ancha, el tráfico debe multiplexarse por división en el tiempo en caminos compartidos. Imagine el resultado de multiplexar paquetes provenientes de dos redes con requisitos diferentes (y diseños de paquetes diferentes) en un único enlace (véase la Figura 19.1). ¿Qué ocurre cuando la línea 1 utiliza paquetes grandes (normalmente paquetes de datos) mientras que la línea 2 utiliza paquetes muy pequeños (lo normal en sonido y vídeo)?

Si un paquete X muy grande llega a la línea 1 del multiplexor un momento antes de que lleguen paquetes a la línea 2, el multiplexor situará el paquete X en la línea de salida. Incluso aunque los paquetes de la línea 2 tengan mayor prioridad, el multiplexor no tiene forma de saber que tiene que esperar por ellos. El paquete A debe esperar hasta que el paquete X se haya transmitido. El gran tamaño del paquete X crea un retardo injusto en el paquete A. El mismo desequilibrio puede afectar a todos los paquetes de la línea 2. Como analogía, imagínese en un coche que llega a un cruce justo después de que un desfile ha llegado por la dirección contraria. El desfile toma la misma calle que usted necesita, pero, debido a que ha llegado antes que usted, ya ha comenzado a tomarla. Usted tiene que esperar a que el desfile completo haya pasado antes de que pueda continuar. Ahora imagine que usted estaba siguiendo a otro coche que pasó antes de que llegara el desfile. Usted llegará a su destino separado por un gran intervalo de tiempo.

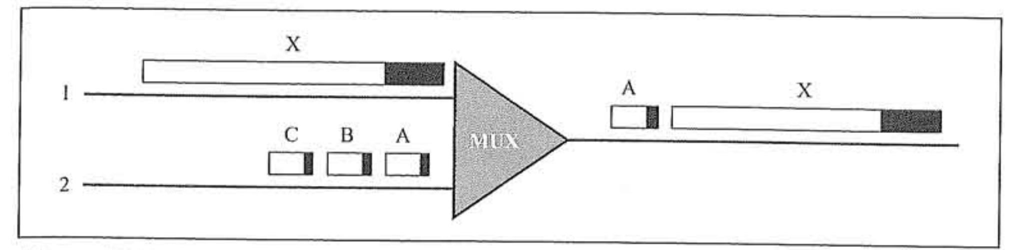


Figura 19.1. *Multiplexación utilizando paquetes de tamaños diferentes.*

Debido a que los paquetes de sonido y vídeo normalmente son pequeños, la mezcla de ellos con tráfico de datos convencional con frecuencia crea retardos inaceptables y hace que los enlaces de paquetes compartidos no se puedan utilizar para vídeo y sonido. El tráfico debe viajar por caminos diferentes, de igual forma que lo hace un automóvil y un tren. Pero, para conseguir una completa utilización de los enlaces de banda ancha, es necesario que se envíen por los mismos enlaces cualquier tipo de tráfico.

Redes basadas en celdas

Muchos de los problemas asociados con la interconexión basada en paquetes se solucionan adoptando un concepto denominado red de celdas. Una celda es una pequeña unidad de datos de tamaño fijo. En una **red de celdas,** que utiliza la **celda** como unidad básica de intercambio de datos, todos los datos se cargan en celdas idénticas que pueden ser transmitidas de una forma uniforme y completamente predecible. Cuando paquetes de tamaños diferentes alcanzan una red de celdas desde una red tributaria, se dividen en varias unidades de datos de igual longitud y se cargan en celdas. Las celdas son multiplexadas con otras celdas y encaminadas a través de la red. Debido a que cada celda es del mismo tamaño y éste es pequeño, se eliminan los problemas asociados con la multiplexación de paquetes de tamaño diferente.

Una red de celdas utiliza la celda como unidad básica de intercambio de datos. Una celda se define como un bloque de información pequeño de tamaño fijo.

Ventajas de las celdas

La Figura 19.2 muestra el multiplexor de la Figura 19.1 con las dos líneas enviando celdas en lugar de paquetes. El Paquete X ha sido fragmentado en tres celdas: X, Y y Z. Solo la primera celda de la línea 1 es puesta en el enlace de salida antes de la primera celda de la línea 2. Las celdas de las dos líneas se entrelazan de forma que ninguna sufra un gran retardo.

Una segunda ventaja de este mimo escenario es que la alta velocidad de los enlaces junto con el pequeño tamaño de las celdas significa que, a pesar del entrelazado, las celdas de cada línea llegan a sus respectivos destinos como un flujo continuo (de igual forma que una

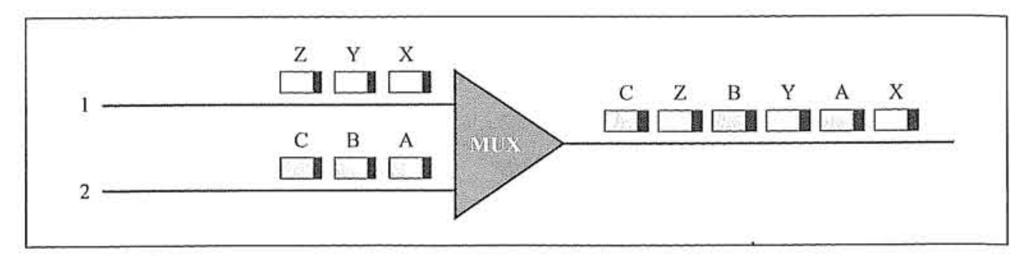


Figura 19.2. *Multiplexación utilizando celdas.*

película se muestra al cerebro como una acción continua cuando en realidad es una serie de fotografías totalmente diferentes). De este modo, una red de celdas puede gestionar transmisiones de tiempo real, como llamadas telefónicas, sin que los participantes en la comunicación se percaten de que existe segmentación o multiplexación.

Además, la predecibilidad conseguida por un tamaño de celda fijo permite a los conmutadores y terminales tratar a cada celda como una unidad y no como un flujo de bits. En otras palabras, en una red de celdas, la unidad más pequeña es la celda, no el bit. Esta distinción hace que el funcionamiento de la red no sólo sea más eficiente sino también más barato. La conmutación y la multiplexación se pueden implementar mediante *hardware* en lugar de *software*, lo que da lugar a dispositivos más baratos de producir y de mantener.

TDM asíncrono

ATM utiliza multiplexación por división en el tiempo asíncrona (véase el Capítulo 8) —por eso se denomina Modo de transferencia asíncrono— para multiplexar las celdas que vienen de diferentes canales. Utiliza ranuras de tamaño fijo (tamaño de una celda). Los multiplexores ATM rellenan una ranura con una celda de cualquier canal de entrada que tenga una celda; la ranura está vacía si ninguno de los canales tiene una celda para enviar.

La Figura 19.3 muestra cómo se multiplexan las celdas de tres canales de entrada. En el primer pulso de reloj, el canal 2 no tiene ninguna celda (ranura de entrada vacía), por lo que el multiplexor rellena la ranura con una celda del tercer canal. Cuando las celdas de todos los canales se han multiplexado, las ranuras de salida están vacías.

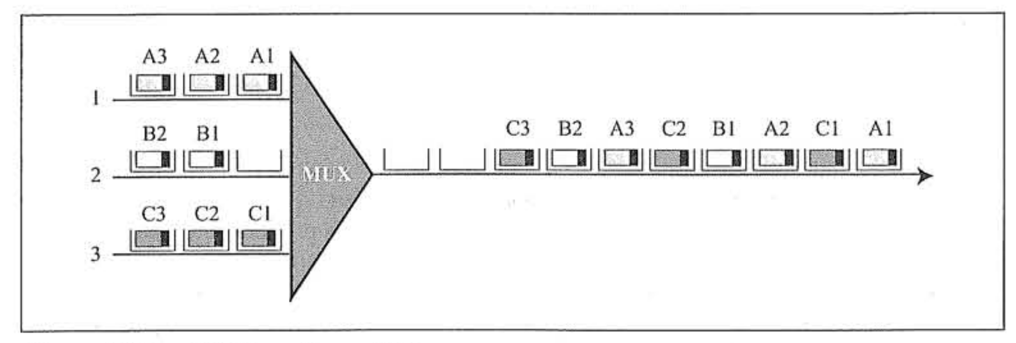


Figura 19.3. *Multiplexación en ATM.*

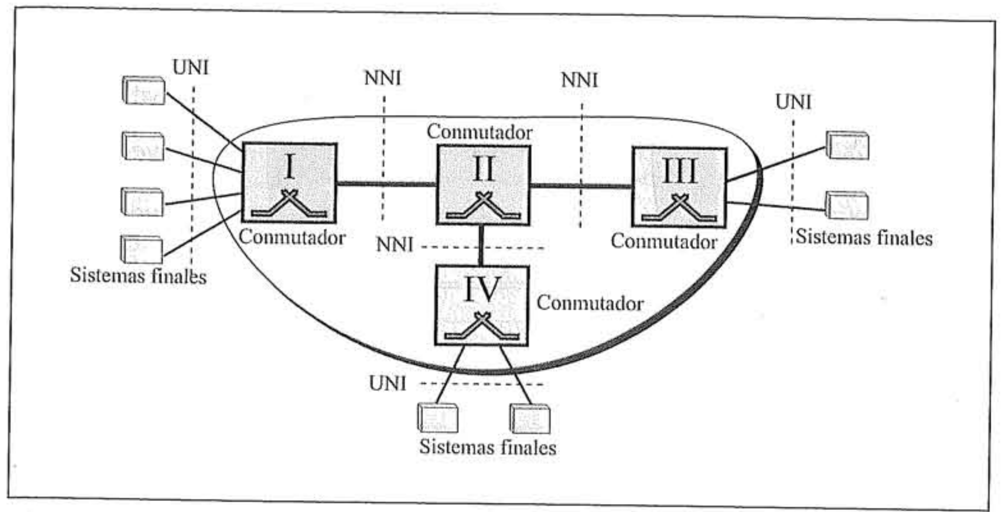


Figura 19.4. *Arquitectura de una red ATM.*

19.2. ARQUITECTURA DE ATM

ATM es una red de conmutación de celdas. Los dispositivos de acceso del usuario, denominados sistemas finales se conectan mediante una **interfaz usuario-red (UNI,** *User-to-Network Interface*) a los conmutadores de la red. Los conmutadores se conectan mediante **interfaces red-red (NNI,** *Network-to-Network Interface*). La Figura 19.4 muestra un ejemplo de red ATM.

Conexión virtual

La conexión entre dos sistemas finales se realiza mediante caminos de transmisión (TP, *Transmission Paths*), caminos virtuales (VP, *Virtual Paths*) y circuitos virtuales (VC, *Virtual Circuits*). Un **camino de transmisión (TP)** es la conexión física (cable, satélite, etc.) entre el sistema final y un conmutador o entre dos conmutadores. Considere dos conmutadores como dos ciudades. Un camino de transmisión es el conjunto de todas las autopistas que conectan directamente las dos ciudades.

Un camino de transmisión se divide en varios caminos virtuales. Un **camino virtual (VP)** ofrece una conexión o un conjunto de conexiones entre dos conmutadores. Considere un camino virtual como una autopista que conecta dos ciudades. Cada autopista es un camino virtual; el conjunto de todas las autopistas es el camino de transmisión.

Las redes de celdas están basadas en **circuitos virtuales (VC)**. Todas las celdas que pertenecen a un mismo mensaje siguen el mismo circuito virtual y mantienen su orden original hasta que alcanzan su destino. Considere un circuito virtual como los carriles de una autopista (camino virtual). La Figura 19.5 muestra la relación entre un camino virtual (una conexión física), caminos virtuales (una combinación de circuitos virtuales que son envueltas juntas debido a que partes de sus caminos son el mismo) y circuitos virtuales que conectan lógicamente dos extremos juntos.

Para comprender mejor el concepto de VP y VC, fíjese en la Figura 19.6. En esta figura, ocho sistemas finales se comunican utilizando cuatro VC. Sin embargo, los dos primeros VC parecen compartir el mismo camino virtual entre el conmutador I y el III, por lo que es razo-

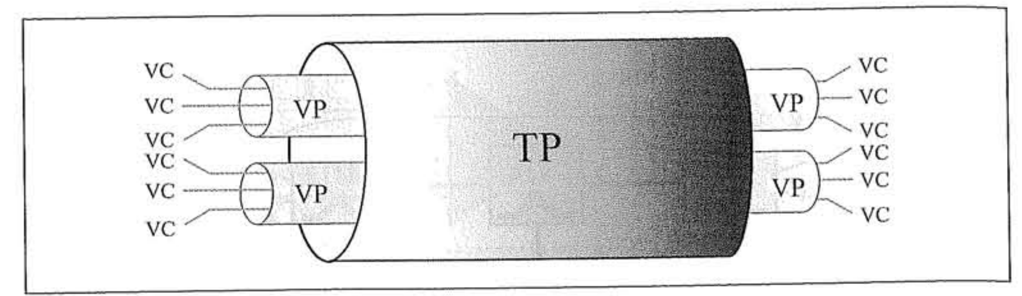


Figura 19.5. *TP, VP y VC.*

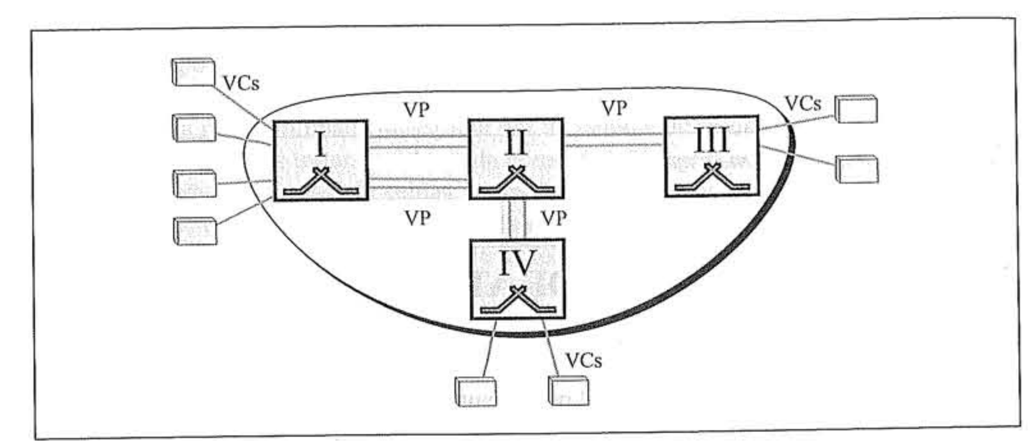


Figura 19.6. *Ejemplo de VP y VC.*

nable que se enlacen estos dos VC juntos para formar un VP. Por otro lado, está claro que los otros dos VC comparten el mismo camino entre el conmutador I y el IV, por lo que también es razonable que se combinen para formar un VP.

Identificadores

En una red de circuitos virtuales, las conexiones virtuales necesitan identificarse para poder encaminar los datos de un sistema a otro. Para este propósito, los diseñadores de ATM crearon un identificador jerárquico con dos niveles: un **identificador de camino virtual (VPI,** *Virtual Path Identifier)* y un **identificador de circuito virtual (VCI,** *Virtual Circuit Identifier)*. El VPI define el VP concreto y el VCI define un VC concreto dentro del VP. El VPI es el mismo para todas las conexiones virtuales que se enlazan (lógicamente) en un VP.

> Observe que una conexión virtual se encuentra definida por un par de números: el VPI y el VCI.

La Figura 19.7 muestra los VPI y VCI para un camino de transmisión (TP). La razón para dividir un identificador en dos partes se verá de forma más clara cuando se describa el encaminamiento en una red ATM.

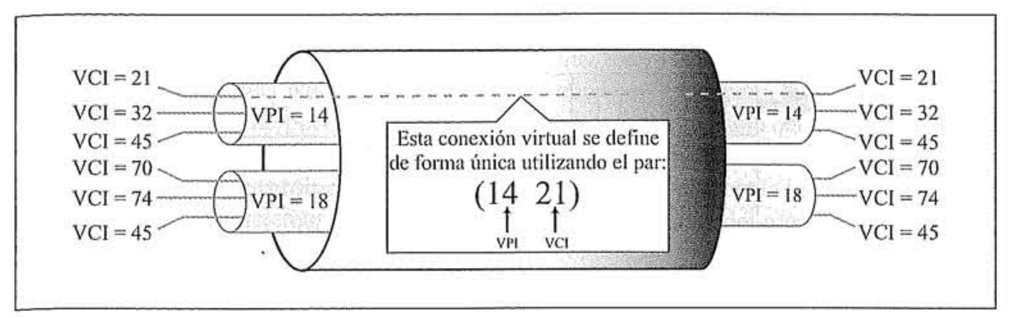


Figura 19.7. *Identificadores de conexión.*

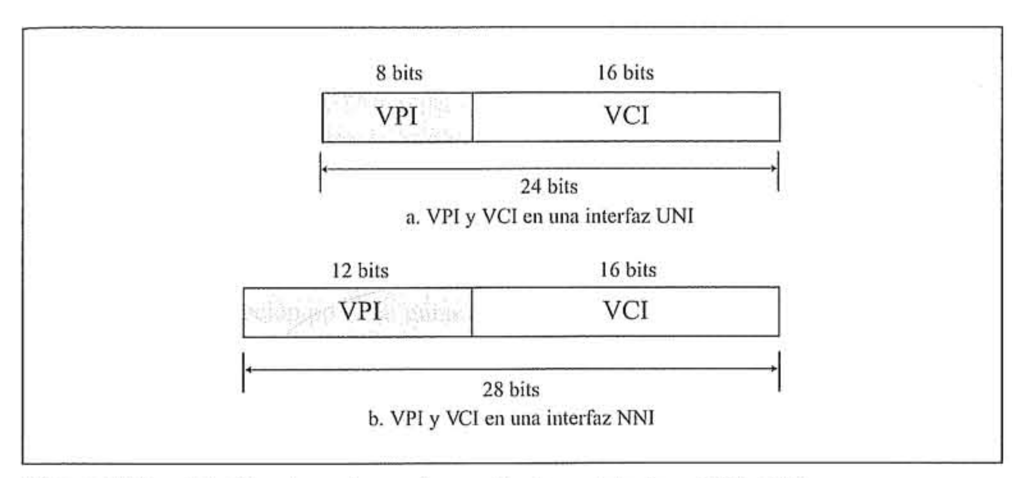


Figura 19.8. *Identificadores de conexiones virtuales en interfaces UNI y NNI.*

Las longitudes de los VPI para las interfaces UNI y NNI son diferentes. En una interfaz UNI, el VPI es de 8 bits, mientras que en una NNI, el VPI es de 12 bits. La longitud del VCI es la misma en ambas interfaces (16 bits). Se puede decir, por tanto, que una conexión virtual se identifica mediante 24 bits en una interfaz UNI y por 28 bits en una interfaz NNI (véase la Figura 19.8).

Celdas

La unidad de datos básica en una red ATM se denomina celda. Una celda sólo tiene 53 bytes, con 5 bytes asignados a la cabecera y 48 para la carga (los datos del usuario pueden tener menos de 48 bytes). Más adelante se estudiarán en detalle los campos de una celda, pero por el momento es suficiente con decir que la mayor parte de la cabecera está ocupada por el VPI y el VCI que define la conexión virtual a través de la cual debe viajar una celda desde el sistema final a un conmutador o desde un conmutador a otro conmutador. La Figura 19.9 muestra la estructura de una celda.

Establecimiento y liberación de la conexión

Al igual que en X.25 y en Frame Relay, ATM utiliza dos tipos de conexiones: PVC y SVC.

Cabecera
Carga
VPI | VCI
5 bytes
48 bytes
53 bytes

Figura 19.9. *Una celda ATM.*

PVC

Un **circuito virtual permanente (PVC,** *Permanent Virtual Circuit*) es establecido entre dos sistemas finales por el proveedor de la red. Los VPI y los VCI están definidos para las conexiones permanentes y los valores se introducen en las tablas de cada conmutador.

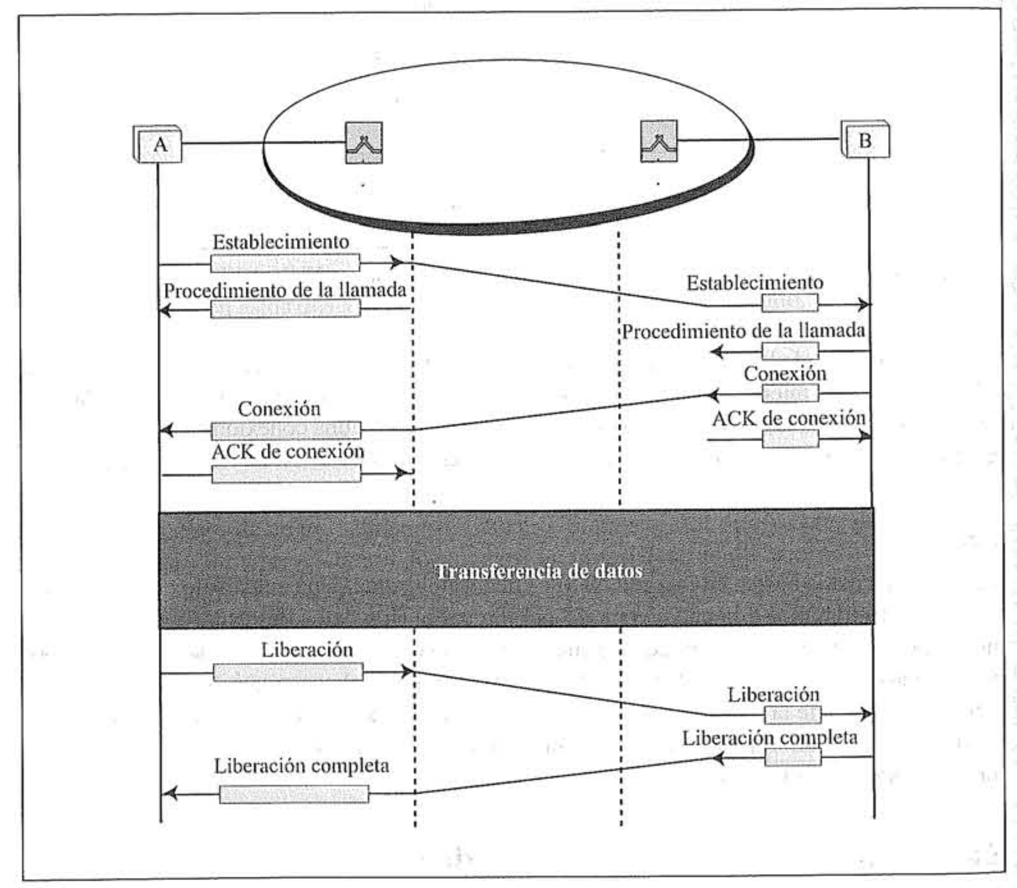


Figura 19.10. *Establecimiento de un SVC.*

SVC

En un **circuito virtual conmutado (SVC,** *Switched Virtual Circuit*), cada vez que un sistema final quiere establecer una conexión con otro sistema final se debería establecer un nuevo circuito virtual. ATM no puede realizar este trabajo por sí misma, sino que necesita direcciones de nivel de red y los servicios de otro protocolo (como IP o RDSI-BA). El mecanismo de señalización del otro protocolo realiza una petición de conexión utilizando las direcciones de nivel de red de los dos sistemas finales. El mecanismo real depende del protocolo de nivel de red empleado. La Figura 19.10 muestra la idea general.

19.3. CONMUTACIÓN

ATM utiliza conmutadores para encaminar las celdas de un sistema origen al sistema destino. Sin embargo, para que la conmutación sea más eficiente, utiliza normalmente dos tipos de conmutadores: VP y VPC.

Conmutador VP

Un conmutador VP encamina la celda utilizando sólo el VPI. La Figura 19.11 muestra cómo encamina una celda un conmutador VP. Una celda con VPI 153 llega a la interfaz 1 del conmutador. El conmutador comprueba su tabla de conmutación, que almacena cuatro elementos de información por fila: número de la interfaz de llegada, VPI entrante, número de interfaz de salida correspondiente y el nuevo VPI. El conmutador busca la entrada con interfaz 1 y VPI 153 y descubre que la combinación se corresponde con la interfaz de salida 3 y VPI 140. Cambia el VPI de la cabecera a 140 y envía la celda por la interfaz 3.

La Figura 19.12 muestra una visión conceptual de un conmutador VP. Se cambian los VPI, pero los VCI siguen siendo los mismos.

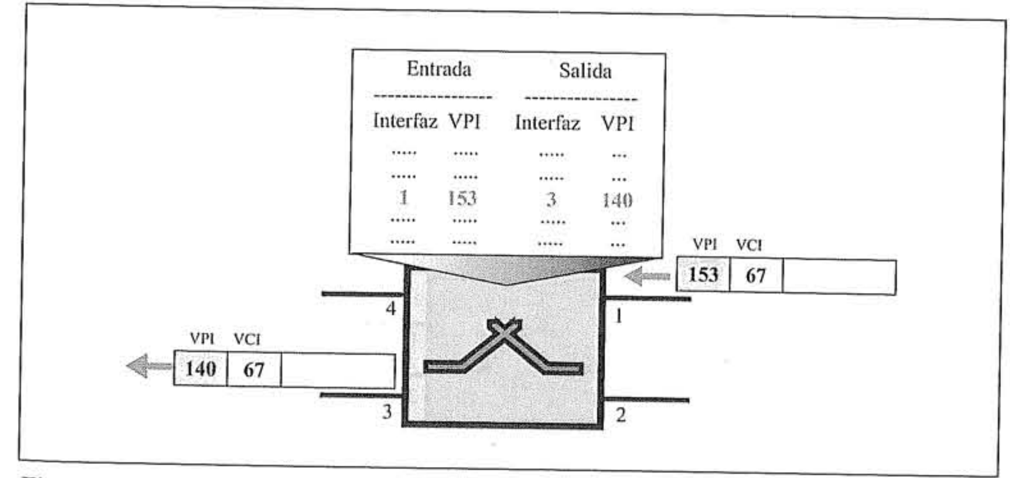


Figura 19.11. *Encaminamiento con un conmutador VP.*

Figura 19.12. *Visión conceptual de un conmutador VP.*

Conmutador VPC

Un conmutador VPC encamina la celda utilizando el VPI y el VCI. El encaminamiento requiere el identificador completo. La Figura 19.13 muestra cómo encamina la celda un conmutador VPC. Una celda con VPI 153 y VCI 67 llega a la interfaz 1 del conmutador. El conmutador comprueba su tabla de conmutación, que almacena seis elementos de información por fila: número de la interfaz de llegada, VPI entrante, VCI entrante, número de la interfaz de salida correspondiente, el nuevo VPI y el nuevo VCI. El conmutador busca la entrada con la interfaz 1, VPI 153 y VCI 67 y encuentra que la combinación se corresponde con la interfaz 3, VPI 140 y VCI 92. Cambia el VPI y el VCI de la cabecera a 140 y 92 respectivamente y envía la celda por la interfaz 3.

La Figura 19.14 muestra una visión conceptual de un conmutador VPC. Se puede considerar a un conmutador VPC como la combinación de un conmutador VP y uno VC.

La idea completa que hay detrás de la división de un identificador de conexión virtual en dos partes es permitir un encaminamiento jerárquico. La mayoría de los conmutadores en una red ATM típica son conmutadores VP; ellos sólo encaminan utilizando el identificador VPI. Los conmutadores situados en los límites de la red, aquellos que interactúan directamente con los dispositivos de los sistemas finales, utilizan identificadores VPI y VCI.

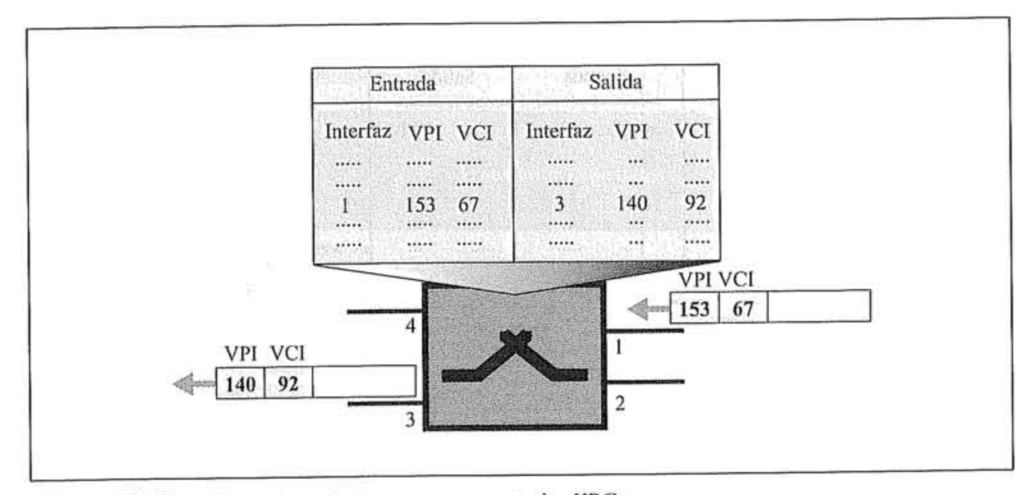


Figura 19.13. *Encaminamiento con un conmutador VPC.*

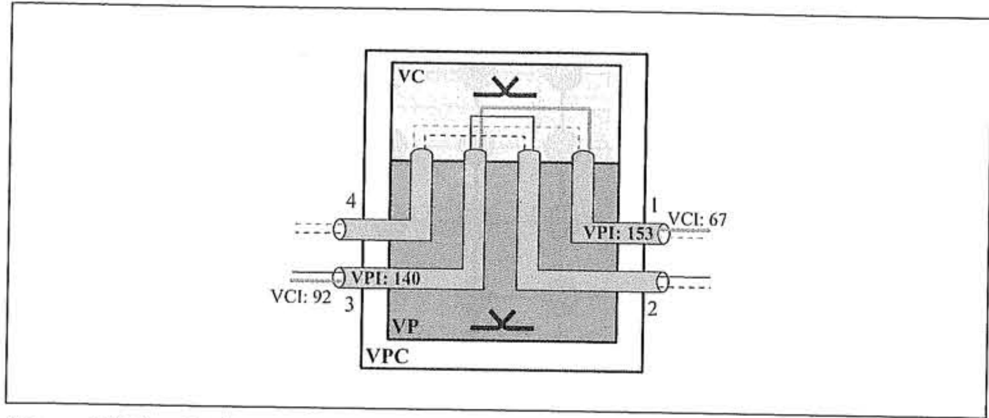


Figura 19.14. *Visión conceptual de un conmutador VPC.*

19.4. TIPOS DE CONMUTADORES

La idea global de ATM es transferir celdas a través de la red de forma muy rápida. Para una red ATM que opera a 155 Mbps, unas 350.000 celdas por segundo pueden llegar a cada interfaz de un conmutador. Está claro que se necesitan conmutadores que puedan recibir y encaminar celdas tan rápido como sea posible. Además, los conmutadores en ATM deben estar sincronizados, aunque pueda no haber celdas en algunas ranuras. El conmutador tiene un reloj y entrega una celda a la salida en cada pulso de reloj.

A continuación se describen varios enfoques ideados para cumplir estos requisitos.

Conmutador de barras cruzadas

El tipo más sencillo de conmutador para ATM es el conmutador de barras cruzadas descrito en el Capítulo 14 y mostrado en la Figura 19.15.

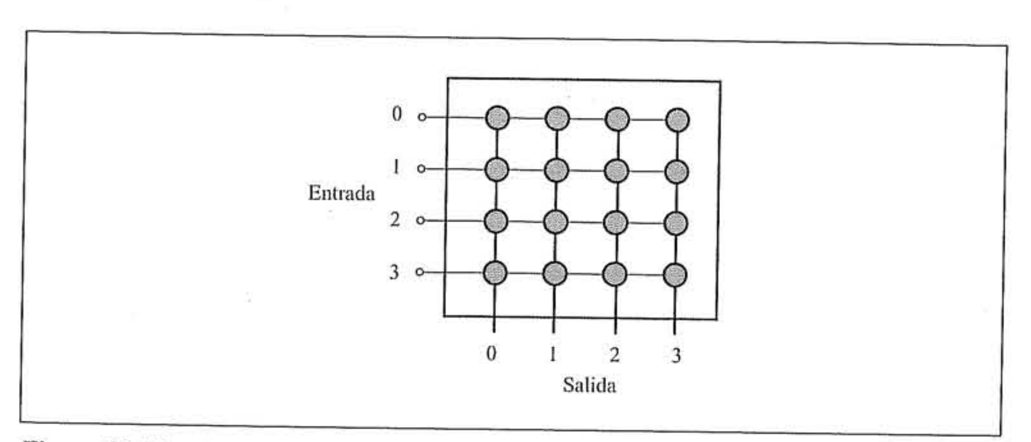


Figura 19.15. *Conmutador de barras cruzadas.*

Figura 19.16. *Conmutador eliminatorio.*

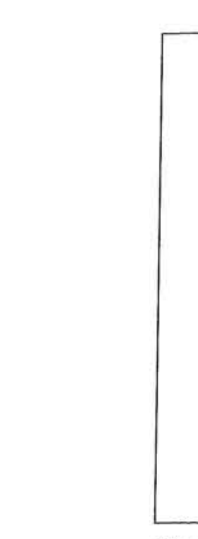
Conmutador eliminatorio

El problema que plantea el conmutador de barras cruzadas es la colisión que aparece cuando dos celdas llegan a entradas diferentes y necesitan encaminarse a la misma salida. El **conmutador eliminatorio** utiliza distribuidores y colas que dirigen las celdas a colas diferentes en la salida. Sin embargo, el conmutador eliminatorio es todavía ineficiente. Con n entradas y n salidas, se necesitan n^2 puntos de cruce. La Figura 19.16 muestra un conmutador eliminatorio.

Conmutador banyan

Un enfoque más real es el conmutador denominado de **banyan.** Este conmutador es un conmutador multietapa con microconmutadores en cada nivel que encaminan las celdas al puerto de salida representado como un *string* binario. Para n estradas y n salidas, se tiene $\log_2(n)$ etapas con $n/2$ microconmutadores en cada etapa. La primera etapa encamina la celda utilizando el bit más significativo de la cadena. La segunda etapa encamina las celdas utilizando el segundo bit, y así sucesivamente. La Figura 19.17 muestra una conmutador banyan con ocho entradas y ocho salidas. El número de etapas es $\log_2(8) = 3$.

La Figura 19.18 muestra el funcionamiento. En la figura de la izquierda, una celda llega al puerto de entrada 1 y debería encaminarse al puerto 6 (110 en binario). El primer microconmutador (A-2) encamina la celda utilizando el primer bit (1), el segundo microconmutador (B-4) encamina la celda utilizando el segundo bit (1) y el tercer microconmutador (C-4) encamina le celda utilizando el tercer bit (0). En la figura de la izquierda, una celda llega al puerto 5 y debería encaminarse al puerto 2 (010 en binario). El primer microconmutador (A-2) encamina la celda utilizando el primer bit (0), el segundo microconmutador (B-2) encamina la celda utilizando el segundo bit (1) y el tercer microconmutador (C-2) encamina la celda utilizando el tercer bit (0).



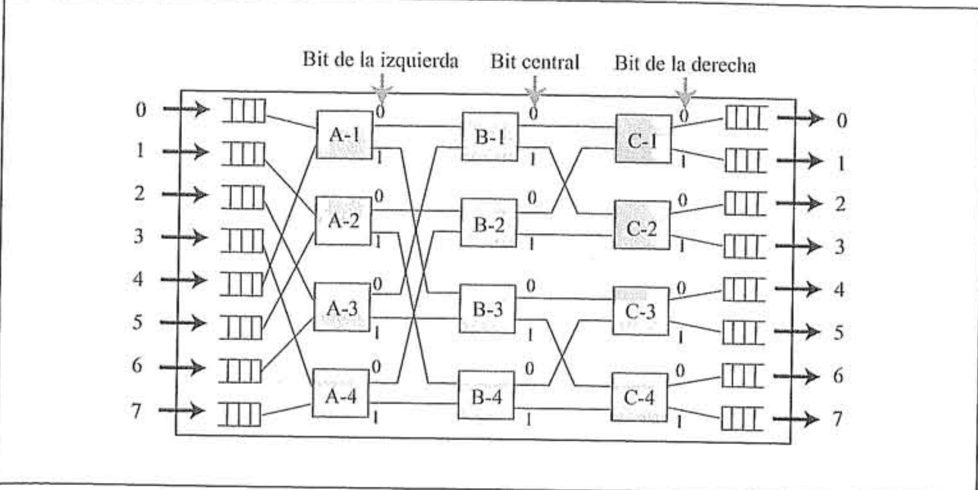


Figura 19.17. *Conmutador Banyan.*

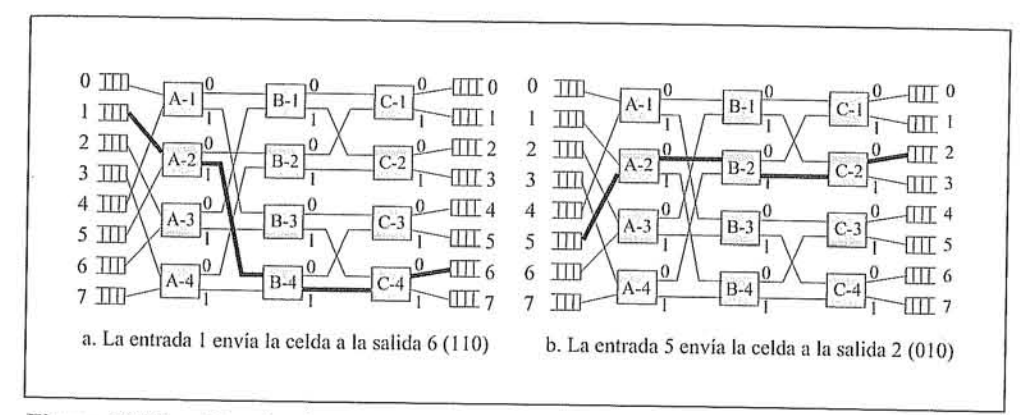


Figura 19.18. *Ejemplos de encaminamiento en un conmutador Banyan.*

Conmutador Batcher-Banyan

El problema del conmutador de banyan es la posibilidad de colisiones internas incluso aunque dos celdas no necesiten la misma salida. Se puede solucionar este problema ordenando las celdas que llegan de acuerdo al puerto de destino.

K. E. Batcher diseñó un conmutador que se sitúa antes del conmutador de banyan y que ordena las celdas que llegan según su destino final. La combinación se denomina **conmutador Batcher-Banyan.** El conmutador que realiza la ordenación utiliza técnicas de mezcla *hardware*, pero no se discutirán sus detalles aquí. Normalmente, otro módulo *hardware* denominado módulo *trap* se sitúa entre el conmutador de Batcher y el conmutador de Banyan (véase la Figura 19.19). El módulo *trap* evita que las celdas duplicadas (celdas con el mismo destino de salida) pasen simultáneamente al conmutador de banyan. Sólo una celda para cada destino puede pasar en cada pulso de reloj. Si hay más de una, deberán esperar al siguiente pulso de reloj.

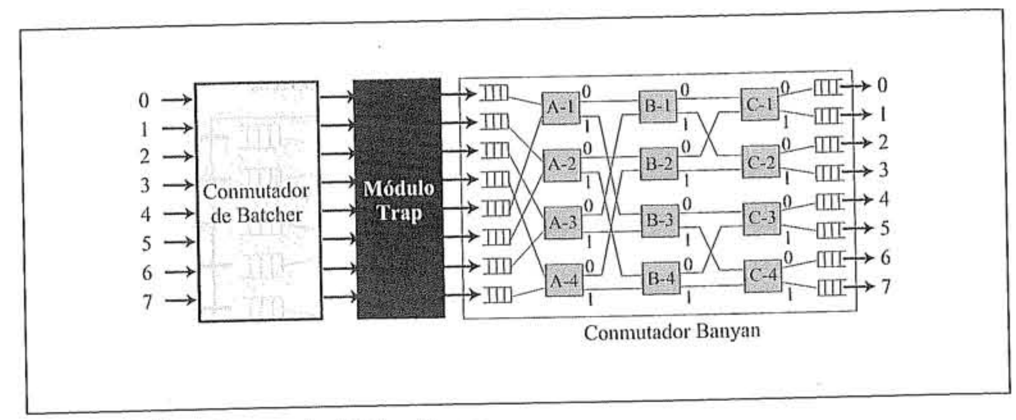


Figura 19.19. *Conmutador Batcher-Banyan.*

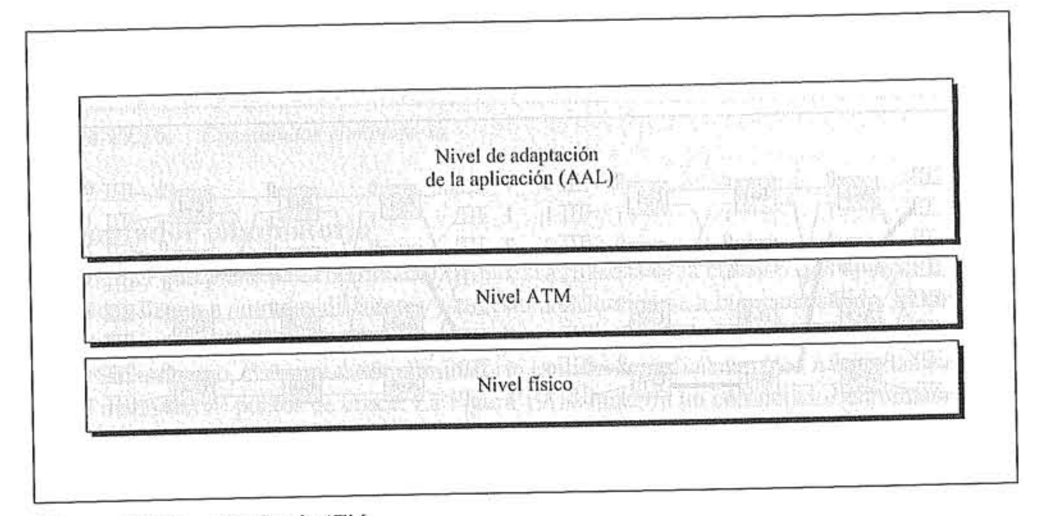


Figura 19.20. *Niveles de ATM.*

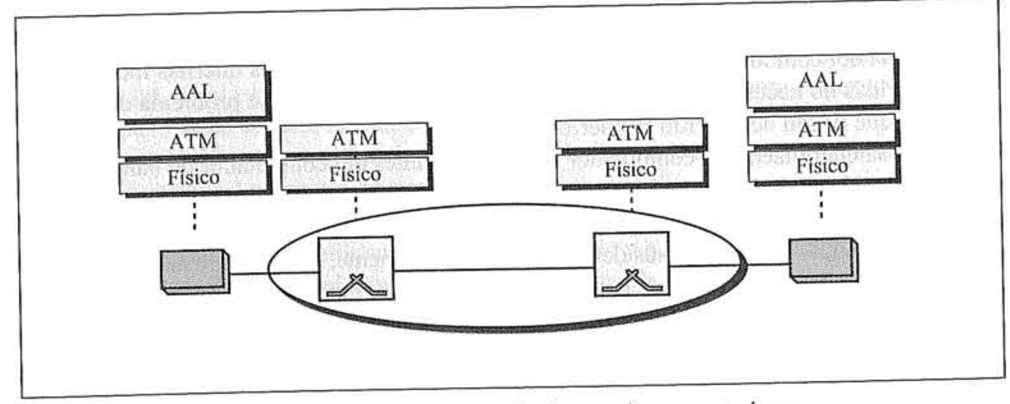


Figura 19.21. *Niveles de ATM en los sistemas finales y en los conmutadores.*

19.5. NIVELES DE ATM

El estándar ATM define tres niveles. Estos niveles son, de arriba abajo, el nivel de adaptación de la aplicación, el nivel ATM y el nivel físico (véase la Figura 19.20).

Los sistemas finales utilizan los tres niveles mientras que los conmutadores solo utilizan los dos niveles inferiores (véase la Figura 19.21).

Nivel de adaptación de la aplicación (AAL)

El **nivel de adaptación de la aplicación (AAL,** *Application Adaptation Layer*) permite a las redes existentes (como redes de paquetes) conectarse a ATM. Los protocolos del nivel AAL aceptan transmisiones de servicios de nivel superior (por ejemplo, paquetes de datos) y los proyectan en celdas ATM de tamaño fijo. Estas transmisiones pueden ser de cualquier tipo (voz, vídeo, sonido, datos) y pueden ser de velocidades fijas o variables. En el receptor, se realiza el proceso inverso: se juntan los segmentos en sus formatos originales y se pasan al servicio receptor.

Tipos de datos

En lugar de un protocolo para todos los tipos de datos, el estándar ATM divide el nivel AAL en categorías, cada una de las cuales soporta los requisitos de un tipo diferente de aplicación. En la definición de estas categorías, los diseñadores de ATM identificaron cuatro tipos de flujos de datos: flujo constante de bits de datos, flujo variable de bits de datos, paquetes de datos orientados a conexión y paquetes de datos sin conexión.

- Los **flujos constantes de bits de datos (CBR,** *Constant-Bit-Rate*) se refieren a aplicaciones que generan y consumen bits a velocidad constante. En este tipo de aplicaciones, los retardos en la transmisión deben ser mínimos y la transmisión debe simular tiempo real. Ejemplos de aplicaciones de este tipo incluyen la voz en tiempo real (llamadas telefónicas) y vídeo en tiempo real (televisión).
- Los **flujos variables de bits de datos (VBR,** *Variable-Bit-Rate*) se refieren a aplicaciones que generan y consumen bits a velocidad variable. En este tipo de aplicaciones, las tasas de bits varían de una sección a otra de la transmisión, pero dentro de unos parámetros establecidos. Aplicaciones de este tipo incluyen el vídeo, datos y voz comprimida.
- Los paquetes de datos orientados a conexión se refieren a aplicaciones de paquetes convencionales (como X.25 y el protocolo TCP de TCP/IP) que utilizan circuitos virtuales.
- Los paquetes de datos sin conexión se refieren a aplicaciones que utilizan datagramas (como el protocolo IP de TCP/IP).

ITU-T reconoció la necesidad de una categoría adicional, uno que sirviera para todos los tipos de datos anteriores pero que se adaptara a la comunicación punto a punto en lugar de a las transmisiones entre redes y multipunto. El subnivel que se diseñó para satisfacer las necesidades de este tipo de transmisión se denominó nivel de adaptación sencillo y eficiente (SEAL, *Simple and Efficient Adaptation Layer*).

Las categorías AAL diseñadas para soportar cada uno de los tipos de datos se han denominado AAL1, AAL2, AAL3, AAL4 y AAL5 respectivamente. Más recientemente, sin embar-

go, se ha decidido que existía tanto solape entre AAL3 y AAL4 que no se justificaba que permanecieran separadas, por lo que se han combinado en una única categoría, AAL3/4. AAL2, aunque sigue formando parte del diseño de ATM, puede eliminarse y sus funciones se pueden combinar con las de otra categoría.

Convergencia y segmentación

Además de dividir el nivel AAL en categorías, ITU-T también lo divide por función. Como resultado de ello, cada una de las categorías del nivel AAL incluyen en realidad dos niveles: el **subnivel de convergencia (CS,** *Convergence Sublayer*) y el **subnivel de segmentación y reensamblado (SAR,** *Segmentation and Reassaembly Sublayer*); véase la Figura 19.22. Las responsabilidades de estos dos subniveles varían y se analizarán cuando se describa cada categoría AAL.

AAL1

AAL1 soporta aplicaciones que transfieren información como flujos de bits constantes, como vídeo y voz, y permite a ATM conectar redes telefónicas digitales existentes como la DS-3 o E-1.

Subnivel de convergencia El subnivel de convergencia divide el flujo de bits en segmentos de 47 bytes y los pasa al subnivel SAR inferior.

Segmentación y reensamblado La Figura 19.23 muestra el formato de una unidad de datos del nivel AAL en el nivel SAR. Como se puede ver, este nivel acepta una carga de 47 bytes del nivel CS y añade una cabecera de un byte. El resultado es una unidad de datos de 48 bytes que se pasa al nivel ATM, donde se encapsula en una celda.

La cabecera en este nivel consta de cuatro campos:

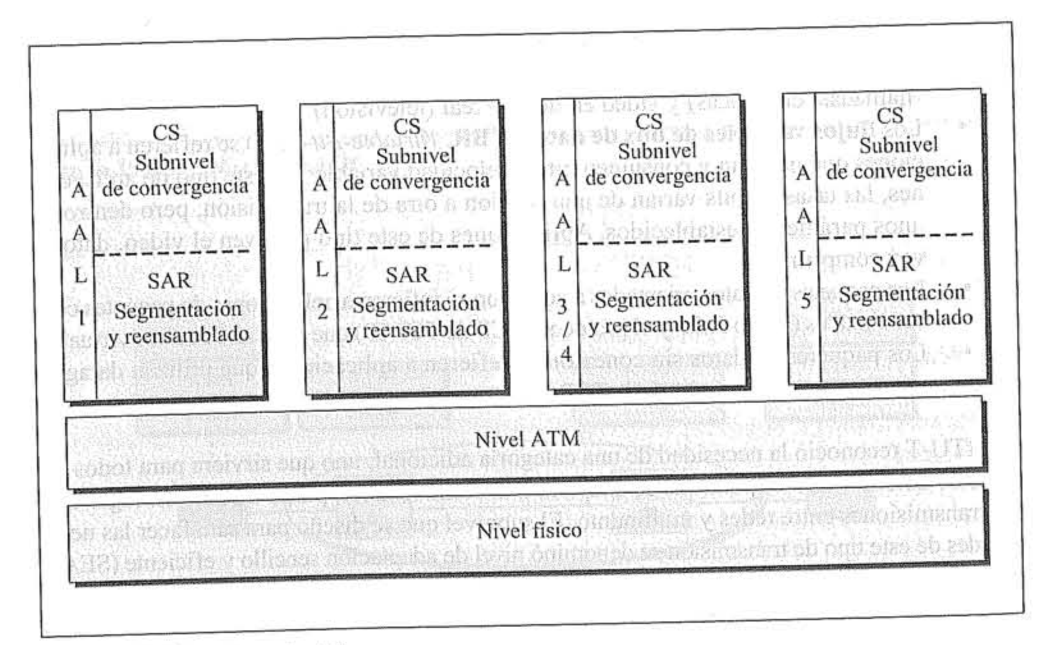


Figura 19.22. *Tipos de AAL.*

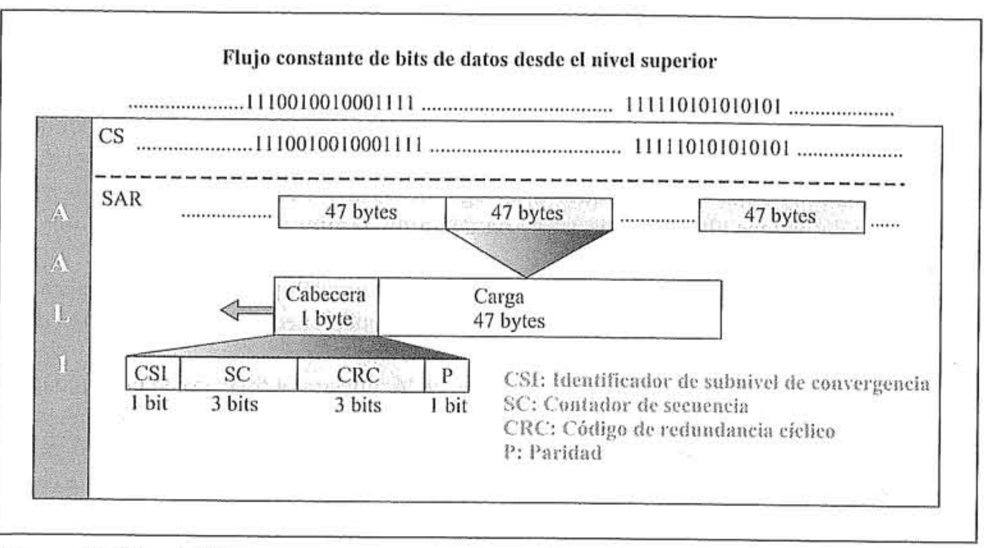


Figura 19.23. *AAL1.*

- **Identificador de subnivel de convergencia (CSI,** *Convergence Sublayer Identifier*). Este campo de 1 bit será utilizado para señalización y aún no se ha definido claramente.
- **Contador de secuencia (SC,** *Sequence Count*). Este campo de tres bits es un número de secuencia módulo 8 utilizado para ordenación e identificación de las celdas en el control de flujo y en el control de errores extremo a extremo.
- **Código de redundancia cíclico (CRC,** *Cyclic Redundancy Check*). Este campo de tres bits se calcula sobre los cuatro primeros bits utilizando el divisor de cuatro bits $x^3 + x + 1$. Tres bits pueden parecer demasiada redundancia. Sin embargo, su objetivo no es solo detectar un error sencillo o múltiple, sino también corregir errores en un bit. En aplicaciones que no sean de tiempo real, un error en una celda no plantea graves consecuencias (la celda puede retransmitirse). En aplicaciones de tiempo real, sin embargo, la retransmisión no es una opción. Sin retransmisión, la calidad de los datos recibidos se deteriora. Con una celda perdida, se podría oír un clic durante una llamada telefónica o se podría ver un punto negro en su monitor de vídeo; la pérdida de un gran número de celdas puede destruir la inteligibilidad. La corrección automática de errores en un bit de la cabecera reduce drásticamente el número de celdas que se pierden y por tanto benefician la calidad de servicio.
- **Paridad (P).** Este bit es un bit de paridad estándar que se calcula sobre los primeros siete bits de la cabecera. Un bit de paridad puede detectar un número impar de errores pero no un número par de errores. Esta característica se puede utilizar para la corrección de errores de los cuatro primeros bits. Si se produce un error en un único bit, lo detectará el código CRC y el bit de paridad. En este caso, el código CRC corrige el bit y la celda es aceptada. Sin embargo, si se producen errores en dos bits, el código CRC lo detectará pero no el bit de paridad. En este caso, la corrección del CRC es inválida y la celda es descartada.

AAL2

El objetivo de AAL2 es soportar aplicaciones con flujos variables de bits de datos. Por ejemplo, en un programa de noticias, cuando la cara del presentador aparece en la pantalla, se producen muy pocos cambios. Compare esto con un partido de baloncesto donde se produce una gran cantidad de cambios. En el primer caso, los datos pueden enviarse a una tasa de datos muy baja, mientras que en el segundo caso los datos pueden transferirse a una tasa de datos más alta. Todavía no se ha definido explícitamente la forma en la que ALL2 hará esto.

Subnivel de convergencia El formato para reordenar el flujo de bits recibido y añadir sobrecarga no está definido aquí. Las diversas aplicaciones pueden utilizar formatos diferentes.

Segmentación y reensamblado La Figura 19.24 muestra el formato de una unidad de datos AAL2 en el nivel SAR. Las funciones en este nivel aceptan una carga de 45 bytes del subnivel CS y añaden una cabecera de un byte y una cola de dos bytes. El resultado es una unidad de datos de 48 bytes que se pasa al nivel ATM, donde es encapsulada en una celda.

La sobrecarga en este nivel consiste en tres campos en la cabecera y dos campos en la cola:

- **Identificador de subnivel de convergencia (CSI).** Este campo de un bit será utilizado para señalización y todavía no ha sido definido claramente.
- **Contador de secuencia (CS).** Este campo de tres bits es un número de secuencia módulo 8 que se utiliza para ordenación e identificación de celdas en el control de flujo y de errores extremo a extremo.
- **Tipo de información (IT,** *Information Type*). Estos bits identifican si el segmento de datos se encuentra al comienzo, en el medio o al final del mensaje.
- **Indicador de longitud (LI,** *Length Indicator*). Los primeros seis bits de la cola se utilizan con el segmento final de un mensaje (cuando el IT de la cabecera indica el final del mensaje) para indicar cuántos bits de la celda son datos y cuántos relleno. Si el flujo original de bits no es divisible por 45, los bits extra se añaden al último segmento para configurar la diferencia. El campo indica donde comienzan estos bits en el segmento.
- **CRC.** Los últimos 10 bits de la cola son un código CRC para la unidad de datos entera. También se puede utilizar para corregir errores en un bit en la unidad de datos.

Inicialmente, AAL3 fue diseñado con el objetivo de soportar servicios de datos orientados a conexión y AAL4 para servicios sin conexión. A medida que evolucionaron, se hizo evidente que los problemas fundamentales de ambos protocolos eran los mismos. Por lo tanto, se han combinado en un único formato denominado **AAL3/4.**

Subnivel de convergencia El subnivel de convergencia acepta un paquete de datos inferior a 65.535 (2^{16}–1) bytes de un servicio de nivel superior (como SMDS o Frame Relay) y añade una cola y una cabecera (véase la Figura 19.25). La cabecera y la cola indican el comienzo y el final del mensaje (para el reensamblado), así como la cantidad de datos que incluye la trama final. Debido a que los paquetes varían en longitud, se puede requerir relleno para asegurar que los segmentos son del mismo tamaño y que los campos de control finales se encuentran en el lugar que espera el receptor. Una vez que la cabecera, la cola y el relleno se encuentran en su lugar, el subnivel CS pasa el mensaje en segmentos de 44 bytes al nivel SAR.

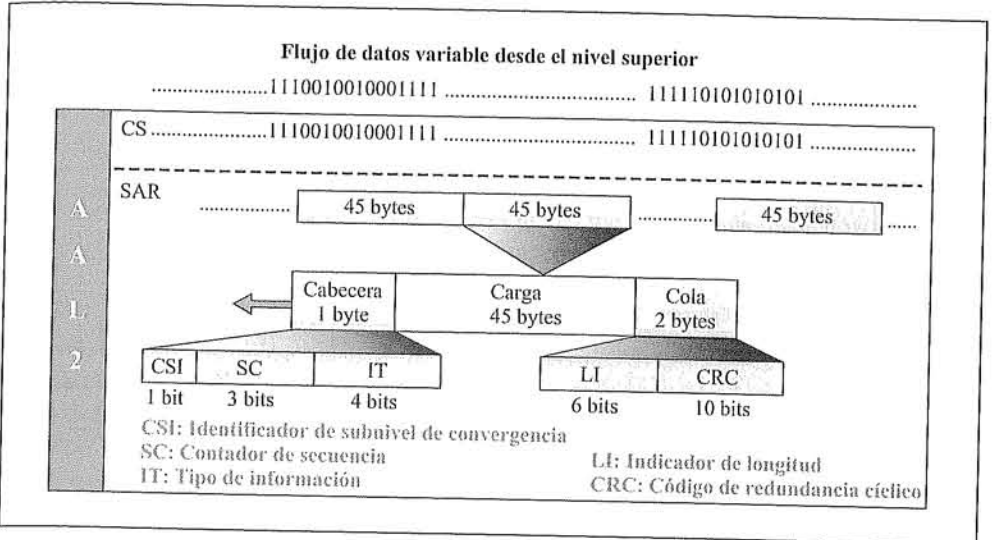


Figura 19.24. *AAL2.*

Es importante observar que la cabecera y la cola del subnivel CS se añaden al comienzo y al final del paquete original, no a cada segmento. Los segmentos intermedios se pasan al nivel SAR sin añadir sobrecarga. De este modo, ATM mantiene la integridad de los paquetes originales y mantiene la relación entre sobrecarga y datos baja. A continuación se describen los campos de la cabecera y la cola en el subnivel de convergencia de AAL3/4.

- **Tipo (T).** Este campo de un bit se mantiene de la versión anterior de AAL3 y se pone a 0 en este formato.
- **Etiqueta de comienzo (BT,** *Begin Tag*). Este campo de un byte sirve como indicador de comienzo. Identifica la primera celda de un paquete segmentado y ofrece sincronización para el reloj de recepción.
- **Asignación de buffer (BA,** *Allocation Buffer*). Este campo de dos bytes indica al receptor el tamaño del buffer que necesita para los datos que llegan.
- **Relleno (PAD).** Como se mencionó anteriormente, el relleno se añade cuando es necesario, para rellenar la celda o celdas finales de un paquete segmentado. El relleno total para un paquete puede estar comprendido entre 0 y 43 bytes y se añade al último o a los dos últimos segmentos. Existen tres posibles escenarios para el rellanado:
  a. Cuando el número de bytes de datos en el segmento final es exactamente 40, no se necesita relleno (se añade la cola de 4 bytes al segmento de 40 bytes para formar 44 bytes).
  b. Cuando el número de bytes de datos en el segmento final es menor que 40 (0 a 39), se añaden bytes de relleno (40 a 1) para formar el total de 40.
  c. Cuando el número de bytes de datos disponibles para el segmento final se encuentra entre 41 y 44, se añaden bytes de relleno (43 a 40) para obtener 84. Los primeros 44 bytes dan lugar a un segmento completo. Los siguientes 40 bytes y la cola configuran el último segmento.

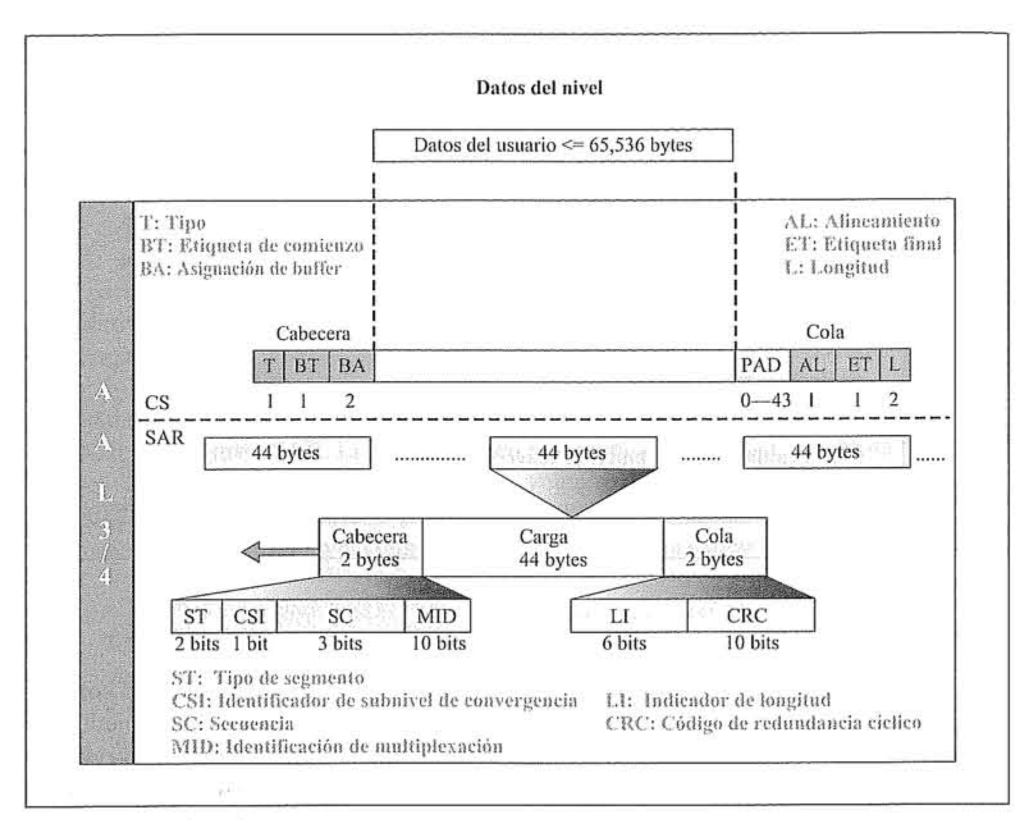


Figura 19.25. *AAL3/4.*

- **Alineación (AL).** Este campo de un byte se incluye para que el resto de la cola sea de cuatro bytes.
- **Etiqueta final (ET,** *Ending Tag*). Este campo de un byte sirve como un indicador del final utilizado para sincronización.
- **Longitud (L).** Este campo de 2 bytes indica la longitud de la unidad de datos.

Segmentación y reensamblado La Figura 19.25 muestra el formato de una unidad de datos AAL3/4. Las funciones de este nivel aceptan una carga de 44 bytes del subnivel CS y añaden una cabecera de 2 bytes y una cola de 2 bytes. El resultado es una unidad de datos de 48 bytes que se pasa al nivel ATM para su inclusión en una celda.

La cabecera y la cola en este subnivel constan de seis campos:

- **Tipo de segmento (ST,** *Segment Type*). Este identificador de dos bits indica si el segmento pertenece al comienzo, al medio o al final del mensaje o por el contrario se trata de un mensaje de un solo segmento.
- **Identificador de subnivel de convergencia (CSI).** Este campo de un bit será utilizado para señalización pero todavía no se ha definido claramente.
- **Contador de secuencia (CS).** Este campo de tres bits es un número de secuencia módulo 8 utilizado para ordenación e identificación de celdas en el control de flujo y de errores extremo a extremo.

- **Identificación de multiplexación (MID,** *Multiplexing Idenfitication*). Este campo de 10 bits identifica a las celdas que vienen de flujos de datos diferentes y se multiplexan en la misma conexión virtual.
- **Indicador de longitud (LI,** *Length Indicator*). Los primeros seis bits de la cola se utilizan junto con el campo ST para indicar qué parte del último segmento son datos y qué parte es relleno. El campo LI se utiliza sólo en las tramas que son identificadas mediante el campo ST como la última del mensaje (fin del paquete).
- **CRC.** Los últimos 10 bits de la cola son un código CRC para la unidad de datos entera.

AAL5

El nivel AAL3/4 ofrece mecanismos de control de errores y de secuenciamiento que no son necesarios en todas las aplicaciones. Cuando las transmisiones no se encaminan a través de múltiples nodos o se multiplexan con otras transmisiones, los mecanismos de corrección de errores y de secuenciamiento elaborados constituyen una sobrecarga innecesaria. Las troncales de ATM y LAN que utilizan enlaces punto a punto constituyen ejemplos de aplicaciones que son más eficientes sin ellos. Para estas aplicaciones, los diseñadores de ATM han proporcionado un quinto subnivel AAL denominado el nivel de adaptación sencillo y eficiente (SEAL). **AAL5** asume que todas las celdas que pertenecen a un único mensaje viajan secuencialmente y que el resto de funciones normalmente proporcionadas por las cabeceras de los subniveles CS y SAR ya han sido incluidas en los niveles superiores de la aplicación que envía los datos. AAL5, por tanto, no ofrece direccionamiento, secuenciamiento ni otras informaciones de las cabeceras CS o SAR. En su lugar, solo se añade en el subnivel CS relleno y una cola de cuatro campos.

Subnivel de convergencia Este subnivel acepta un paquete de datos de no más de 65.535 bytes de un servicio de nivel superior y añade una cola de 8 bytes, así como el relleno necesario para asegurar que la posición de la cola se sitúa en el lugar que espera el equipo receptor

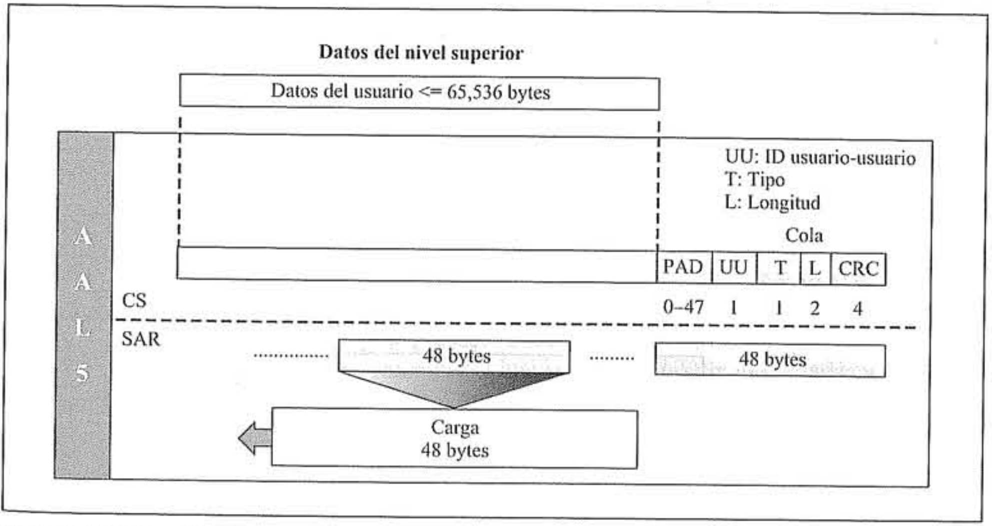


Figura 19.26. *AAL5.*

(en los últimos 8 bytes de la última unidad de datos); véase la Figura 19.26. Una vez añadido el relleno y la cola, el subnivel CS pasa el mensaje en segmentos de 48 bytes al nivel SAR.

Al igual que el nivel AAL3/4, el relleno y la cola se añaden al final del mensaje, no a cada segmento. Los segmentos constan, por tanto, de 48 bytes de datos o, en el caso del último segmento, 40 bytes de datos y 8 de sobrecarga (cola). Los campos que se añaden al final del mensaje incluyen los siguientes:

- **Relleno (PAD).** El relleno total para un paquete puede comprender entre 0 y 47 bytes. Las reglas para rellenar son las mismas que las descritas anteriormente para AAL3/4, con la diferencia de que el cuerpo de los segmentos debe ser igual a 48 bytes en lugar de 44.
- **Identificador usuario-usuario (UU,** *User-to-User ID*). El empleo del campo UU de un byte se deja para el uso del usuario.
- **Tipo (T).** Este campo de un byte está reservado pero no se ha definido todavía.
- **Longitud (L).** El campo L de dos bytes indica la cantidad de datos que hay en el mensaje y la cantidad de relleno.
- **CRC.** Los últimos cuatro bytes son un código de comprobación de errores para la unidad de datos entera.

Segmentación y reensamblado Ni la cabecera ni la cola están definidas en el nivel SAR. En su lugar, pasa el mensaje en segmentos de 48 bytes directamente al nivel ATM.

Nivel ATM

El nivel ATM ofrece servicios de encaminamiento, gestión de tráfico, conmutación y multiplexación. Procesa el tráfico saliente aceptando segmentos de 48 bytes de los subniveles AAL y los transforma en celdas de 53 bytes añadiendo una cabecera de 5 bytes (véase la Figura 19.27).

Formato de la cabecera

ATM utiliza dos formatos para esta cabecera, una para las celdas de la interfaz UNI y otra para las celdas de la interfaz NNI. La Figura 19.28 muestra estas cabeceras en formato byte a byte preferido por la ITU-T (cada fila representa un byte).

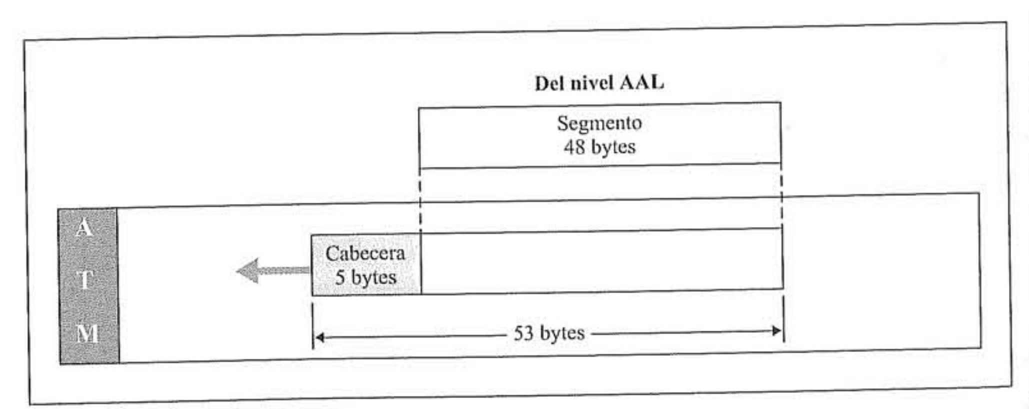


Figura 19.27. *Nivel ATM.*

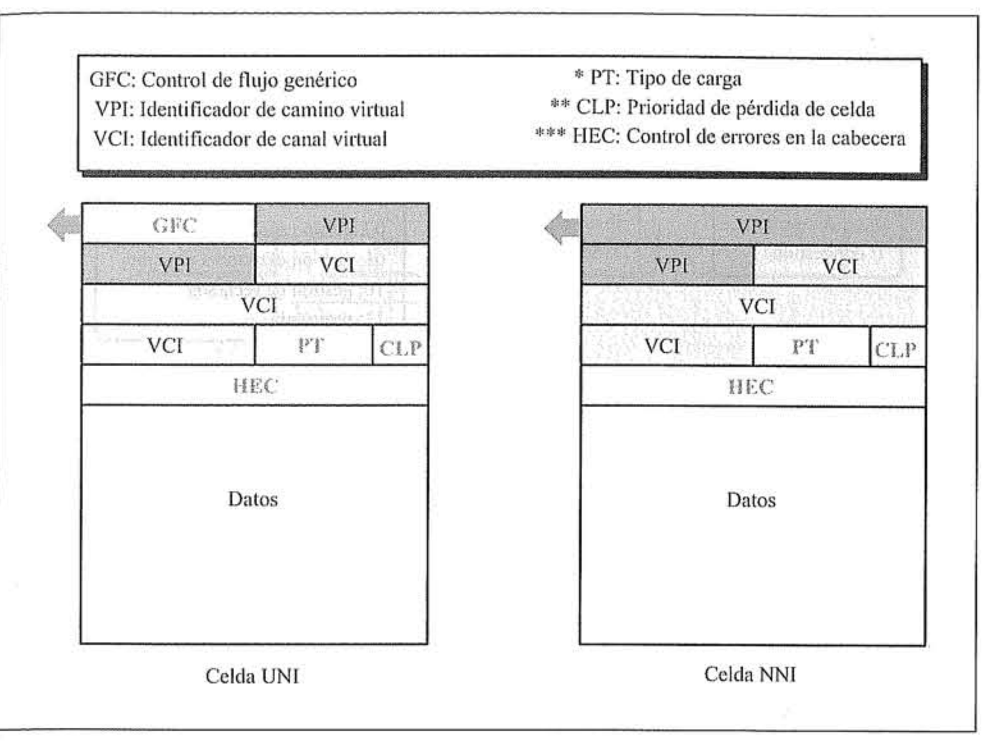


Figura 19.28. *Cabeceras ATM.*

- **Control de flujo genérico (GFC,** *Generic Flow Control*). El campo GFC de cuatro bytes ofrece control de flujo en el nivel UNI. La ITU-T ha determinado que este nivel de control de flujo no es necesario en el nivel NNI. En la cabecera NNI, estos bits se añaden al VPI. Un VPI más grande permite definir más caminos virtuales en el nivel NNI. El formato para este VPI adicional no ha sido determinado todavía.
- **Identificador de camino virtual (VPI).** El VPI es un campo de 8 bits en una celda UNI y de 12 bits en una celda NNI (véase más abajo).
- **Identificador de canal virtual (VCI).** El VCI es un campo de 16 bits en ambas tramas.
- **Tipo de carga (PT,** *Payload Type*). En este campo de tres bits, el primer bit indica si la carga transporta datos de usuario o información de gestión. La interpretación de los dos últimos bits depende del primer bit (véase la Figura 19.29).
- **Prioridad de pérdida de celda (CLP,** *Cell Loss Priority*). Este campo de un bit ofrece control de congestión. Cuando el enlace se congestiona, las celdas de baja prioridad pueden descartarse para proteger la calidad de servicio de las celdas de prioridad mayor. Este bit indica al conmutador qué celdas pueden ser descartadas y cuáles retenidas. Una celda con el bit CLP a 1 debe ser retenida mientras haya celdas con un CLP a 0. Esta capacidad para distinguir la prioridad es útil en muchas circunstancias. Por ejemplo, suponga que a un usuario se le ha asignado una tasa de x bits por segundo pero es incapaz de crear datos tan rápido. Puede insertar celdas falsas en el flujo de datos para elevar la tasa de bits artificialmente. Estas celdas falsas mostrarán una

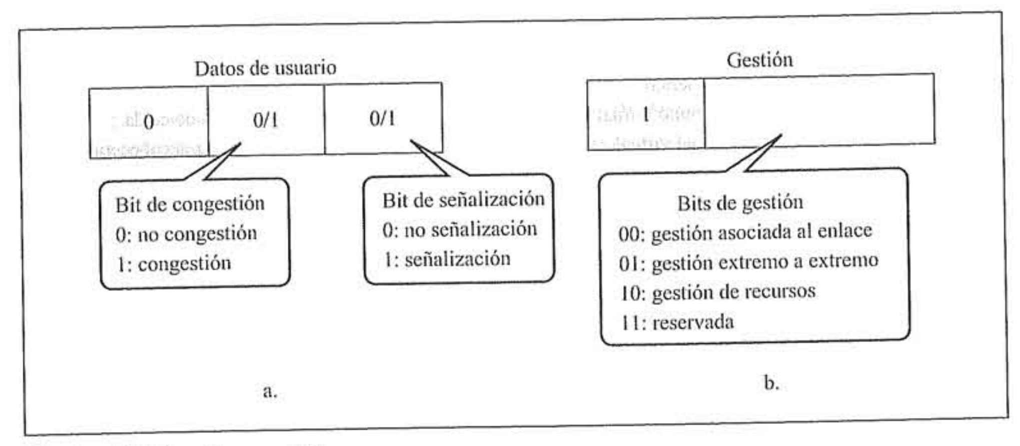


Figura 19.29. *Campos PT.*

prioridad 0 para indicar que pueden ser descartadas sin afectar a los datos reales. Un segundo escenario aparece cuando un usuario al que se le ha asignado un tasa de datos decide transmitir a una mayor. En este caso, la red puede fijar este campo a 0 en algunas celdas para indicar que pueden perderse si el enlace se sobrecarga.

- **Corrección de errores de la cabecera (HEC,** *Header Error Correction*). Este campo es un código que se calcula para los cuatro primeros bytes de la cabecera. Es un CRC que utiliza el divisor $x^8 + x^2 + x + 1$ que se emplea para corregir errores en un bit y una clase mayor de errores en varios bits.

Nivel físico

El nivel físico define el medio de transmisión, la transmisión de bits, la codificación y la transformación eléctrica u óptica. Ofrece convergencia con los protocolos de transporte físico, como SONET (descrito en el Capítulo 20) y T-3, así como los mecanismos para transformar el flujo de celdas en un flujo de bits.

El Foro ATM ha dejado la mayoría de las especificaciones de este nivel a los implementadores. Por ejemplo, el medio de transporte puede se un par trenzado, un cable coaxial o un cable de fibra óptica (aunque la velocidad necesaria para soportar la RDSI-BA es improbable que se consiga utilizando cables de par trenzados).

19.6. CLASES DE SERVICIOS

El Foro ATM define cuatro clases de servicios: CBR, VBR, ABR y UBR. VBR se divide en dos subclases VBR-RT y VBR-NRT (véase la Figura 19.30).

- **CBR.** La clase de **tasa de bits constante (CBR)** se ha diseñado para los clientes que necesitan servicios de vídeo y audio de tiempo real. El servicio es similar al ofrecido por una línea dedicada como la línea T.
- **VBR.** La clase de **tasa de bits variable (VBR)** se divide en dos subclases: **tiempo real (VBR-RT)** y **sin tiempo real (VBR-NRT).** VBR-RT se diseñó para los usuarios que necesitan servicios de tiempo real (como transmisión de voz y vídeo) y utilizan técnicas de compresión para crear una tasa de bits variable. VBR-NRT se diseñó para aquellos usuarios que no necesitan servicios de tiempo real pero utilizan técnicas de compresión para crear un flujo de bits variable.
- **ABR.** La clase **de tasa de bits disponible (ABR,** *Available Bit Rate*) entrega las celdas a la mínima velocidad. Si hay más capacidad de red, la velocidad mínima puede incrementarse. ABR es particularmente adecuado para aplicaciones que utilizan por su naturaleza ráfagas.
- **UBR.** La clase de **tasa de bits no especificada (UBR,** *Unspecified Bit Rate*) es un servicio de mejor entrega posible que no garantiza nada.

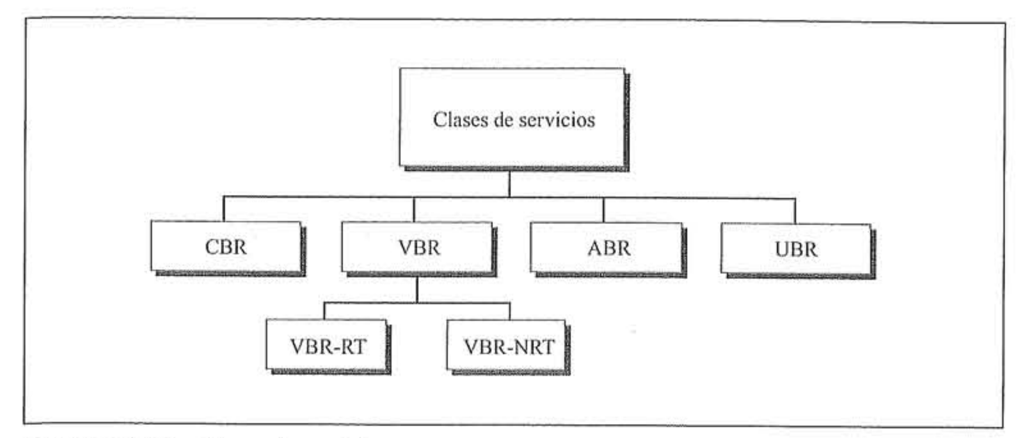


Figura 19.30. *Clases de servicios.*

La Figura 19.31 muestra la relación entre las diferentes clases y la capacidad total de la red.

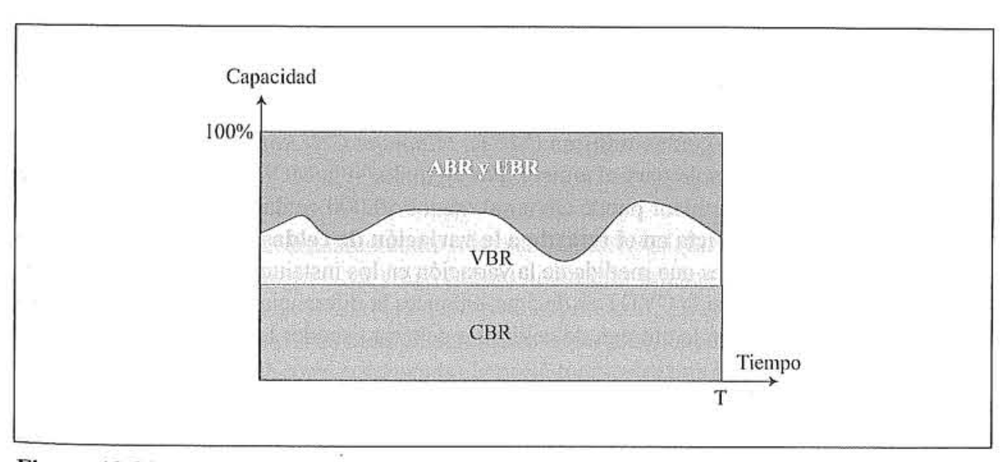


Figura 19.31. *Relación entre las clases de servicios y la capacidad total de la red.*

Figura 19.32. *QoS.*

Calidad de servicio

La **calidad de servicio (QoS,** *Quality of Service*) define un conjunto de atributos relacionados con el rendimiento de la conexión. Para cada conexión, el usuario puede solicitar un atributo concreto. Cada clase de servicio está asociada con un conjunto de atributos. Los atributos se pueden clasificar en atributos que están relacionados con el usuario y en atributos relacionados con la red. La Figura 19.32 muestra las dos categorías y algunos atributos importantes de cada categoría.

Atributos relacionados con el usuario

Los atributos relacionados con el usuario son aquellos atributos que definen la velocidad con la que el usuario quiere enviar los datos. Estos atributos se negocian cuando se realiza el contrato entre un usuario y una red. A continuación se describen algunos atributos relacionados con el usuario.

- **SCR.** La **tasa de celdas sostenida (SCR,** *Sustained Cell Rate*) es la tasa de celdas media en un intervalo de tiempo largo. La tasa de celdas real puede ser mayor o menor, pero la media debería ser igual o menor que la SCR.
- **PCR.** La **tasa de celdas pico (PCR,** *Peak Cell Rate*) define la máxima tasa de celdas del emisor. La tasa de celdas del usuario puede en algunas ocasiones alcanzar este pico, mientras que se mantenga la SCR.
- **MCR.** La **tasa de celdas mínima (MCR,** *Minimum Cell Rate*) define la tasa de celdas mínima aceptable para el emisor. Por ejemplo, si la MCR es 50.000, la red debe garantizar que el emisor puede enviar al menos 50.000 celdas por segundo.
- **CVDT.** La **tolerancia en el retardo a la variación de celdas (CVDT,** *Cell Variation Delay Tolerance*) es una medida de la variación en los instantes de transmisión de celdas. Por ejemplo, si la CVDT es de 5 ns, entonces la diferencia entre los retardos mínimos y máximos en la entrega de celdas no debería exceder los 5 ns.

Atributos relacionados con la red

Los atributos relacionados con la red son los que definen las características de la red. A continuación se definen algunos de estos atributos:

- **CLR.** La **tasa de celdas pérdidas (CLR,** *Cell Loss Ratio*) define la fracción de celdas pérdidas (o entregadas demasiado tarde y que se consideran pérdidas) durante la transmisión. Por ejemplo, si el emisor envía 100 celdas y una se pierde, la CLR es:

$$CLR = 1/100 = 10^{-2}$$

- **CTD.** El **retardo en la transferencia de celdas (CTD,** *Cell Transfer Delay*) es el tiempo medio necesario para que una celda viaje del origen al destino. También se consideran como atributos al CTD máximo y al CTD mínimo.
- **CVD.** La **variación en el retardo de celdas (CVD,** *Cell Delay Variation*) es la diferencia entre el CTD máximo y el CTD mínimo.
- **CER.** La **tasa de celdas con error (CER,** *Cell Error Ratio*) define la fracción de celdas entregadas con error.

Descriptores de tráfico

Los mecanismos mediante los cuales se implementan las clases de servicios y los atributos de QoS se denominan descriptores de tráfico. Un descriptor de tráfico define la forma en la que el sistema asegura y dirige el tráfico. El algoritmo para implementar descriptores de tráfico se llama algoritmo de velocidad de celdas generalizado (GCRA, *Generalized Cell Rate Algorithm*). Usa variaciones del algoritmo del cubo con escape (definido en el Capítulo 18) para cada tipo de clase de servicio. La descripción de este algoritmo se encuentra fuera del ámbito de este libro.

19.7. APLICACIONES DE ATM

ATM se utiliza tanto en LAN como en WAN. A continuación se ofrece una visión de ambas aplicaciones.

WAN con ATM

ATM es básicamente una tecnología WAM que entrega celdas a larga distancia. En este tipo de aplicaciones, ATM se utiliza principalmente para conectar entre sí LAN o WAN. Se utiliza como sistema final un encaminador entre la red ATM y la otra red. El encaminador tiene dos pilas de protocolos: una que pertenece a ATM y la otra que pertenece al otro protocolo. La Figura 19.33 muestra la situación.

LAN con ATM

ATM fue originalmente diseñado como una tecnología WAN. Sin embargo, la alta velocidad de datos de esta tecnología (155 y 622 Mbps) ha atraído la atención de los diseñadores que buscan más velocidad en la LAN. En un nivel superficial, el uso de la tecnología ATM en LAN parece muy natural. Por ejemplo, compare la parte a y la parte b de la Figura 19.34. La parte a muestra una Ethernet conmutada; la parte b muestra una LAN con ATM. Ambas utilizan un conmutador para encaminar los paquetes o celdas entre los computadores. Sin embargo, la similitud solo es superficial; deben resolverse muchos problemas. A continuación se describen algunos de estos problemas:

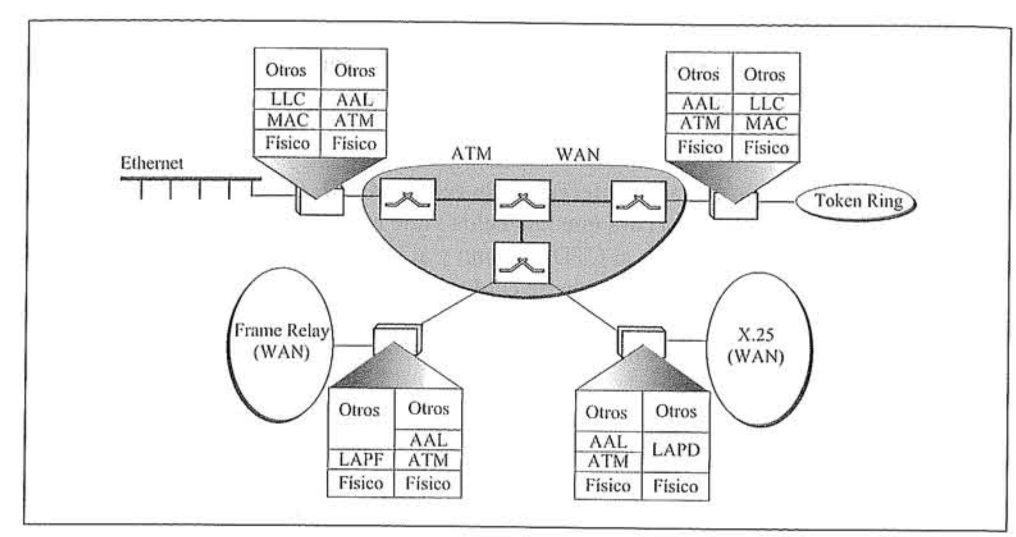


Figura 19.33. *WAN con ATM.*

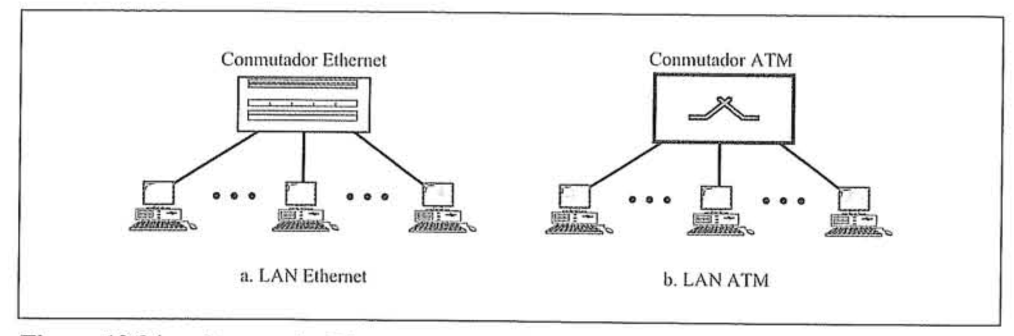


Figura 19.34. *Conmutador Ethernet y conmutador ATM.*

- **Servicio orientado a conexión frente a servicio sin conexión.** Las LAN tradicionales como Ethernet son protocolos no orientados a conexión. Una estación envía paquetes de datos a otra cuando los paquetes están listos. No existe una fase de establecimiento de la conexión ni de liberación de la conexión. Por otro lado, ATM es un protocolo orientado a conexión; una estación que desea enviar celdas a otra debería establecer en primer lugar una conexión y una vez que ha transmitido todas las celdas, finalizar la conexión.
- **Direcciones físicas frente a identificadores de conexión virtual.** Muy relacionado con el primer problema es la diferencia en el direccionamiento. Un protocolo sin conexión como Ethernet define el camino de un paquete mediante dirección origen y destino. Sin embargo, un protocolo orientado a conexión como ATM define la ruta de una celda mediante identificadores de conexión virtual (VPI y VCI).
- **Multidifusión.** Las LAN tradicionales como Ethernet pueden difundir paquetes; una estación puede enviar paquetes a un grupo de estaciones o a todas las estaciones. No es sencillo difundir paquetes en una red ATM aunque estén disponibles conexiones punto-a-multipunto.

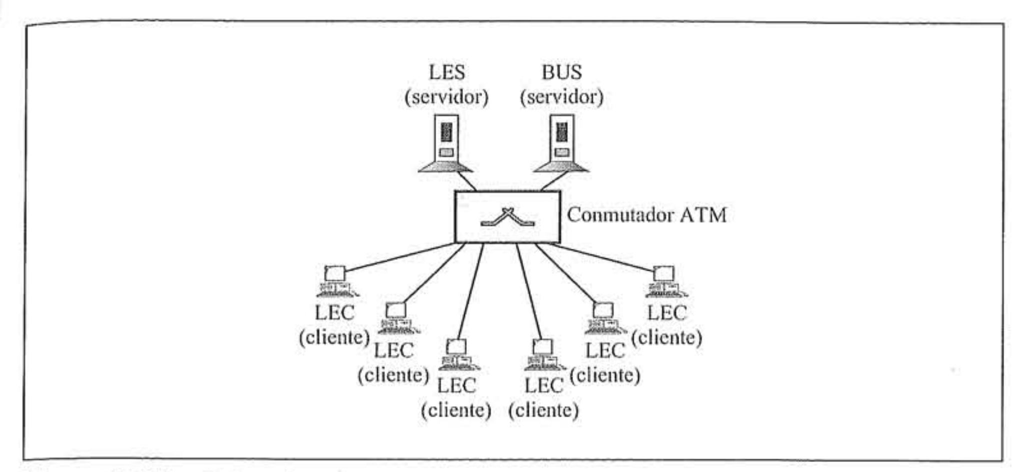


Figura 19.35. *Enfoque basado en LANE.*

LANE

Un enfoque denominado **emulación de red de área local (LANE,** *Local Area Network Emulation*) permite a un conmutador ATM trabajar como un conmutador LAN: ofrece servicio sin conexión, permite a las estaciones utilizar sus direcciones tradicionales en lugar de identificadores de conexión (VPI/VCI) y permite la difusión de paquetes. Se basa en un enfoque cliente/servidor; todas las estaciones utilizan un *software* **cliente LANE (LEC)** y dos servidores que usan dos *software* servidores LANE denominados LES y BUS. La Figura 19.35 muestra esta idea.

El *software* LEC se instala en cada estación encima de los tres protocolos de ATM. Los protocolos de nivel superior no conocen la existencia de la tecnología ATM. Estos protocolos envían sus peticiones al LEC para un servicio LAN como una entrega sin conexión utilizando direcciones unidestino, multidifusión o de difusión. El LEC, sin embargo, interpreta la petición y utiliza los servicios del LEC o del BUS para hacer el trabajo.

El **servidor LANE (LES)** se instala en el servidor LES. Cuando una estación recibe una trama para ser enviada a otra estación utilizando una dirección física, LEC envía una trama especial al servidor LES. El servidor crea un circuito virtual entre la estación origen y la de destino. La estación origen puede ahora utilizar este circuito virtual (y el identificador correspondiente) para enviar la trama o tramas al destino.

La difusión o multidifusión requiere el uso de otro servidor denominado **servidor de difusión desconocido (BUS,** *Broadcast/Unkown Server*) o BUS. Si una estación necesita enviar una trama a un grupo de estaciones o a todas las estaciones, la trama se envía primero al servidor BUS; este servidor tiene conexiones virtuales permanentes con todas las estaciones. El servidor crea copias de la trama recibida y envía una copia a un grupo de estaciones o a todas las estaciones, simulando el proceso de difusión. El servidor también puede entregar una trama unidestino enviando la trama a cada estación. En este caso la dirección de destino es desconocida. Esto es en algunas ocasiones más eficiente que obtener el identificador de conexión del servidor LES.

La Figura 19.36 muestra los niveles en cada estación, en el servidor BUS y en el servidor LES.

Figura 19.36. *LEC, LES y BUS.*

19.8. TÉRMINOS Y CONCEPTOS CLAVE

AAL1
AAL2
AAL3/4
AAL5
calidad de servicio (QoS)
camino de transmisión (TP)
camino virtual (VP)
celda
circuito virtual (VC)
cliente LANE (LEC)
conmutador banyan
conmutador de Batcher-banyan
conmutador eliminatorio
emulación de red de área local (LANE)
identificador de camino virtual (VPI)
identificador de circuito virtual (VCI)
interfaz red-red (NNI)
interfaz usuario-red (UNI)
modo de transferencia asíncrono (ATM)
nivel de adaptación de la aplicación (AAL)
red de celdas
retardo en la transferencia de celdas (CTD)
retransmisión de celdas
segmentación y reensamblado (SAR)
servidor de difusión desconocido (BUS)
servidor LANE (LES)
subnivel de convergencia (CS)
tasa de bits constante (CBR)
tasa de bits disponible (ABR)
tasa de bits no especificada (UBR)
tasa de bits variable (VBR)
tasa de bits variable de tiempo real (VBR-RT)
tasa de bits variable sin tiempo real (VBR-NRT)
tasa de celdas mínima (MCR)
tasa de celdas pico (PCR)
tasa de celdas sostenida (SCR)
tasa de errores en celdas (CLR)
tolerancia al retardo en la variación de celdas (CVDT)
variación en el retardo de la celda (CDV)

19.9. RESUMEN

- El modo de transmisión asíncrono (ATM) es un protocolo de retransmisión de celdas que, en combinación con la RDSI-BA, permitirá la interconexión a alta velocidad de todas las redes del mundo.
- Una celda es un bloque de información de tamaño fijo.
- Un paquete de datos en ATM es una celda compuesta por 53 bytes (5 bytes de cabecera y 48 bytes de carga).
- ATM elimina los retardos variables asociados con los paquetes de distintos tamaños.
- ATM puede manejar transmisión en tiempo real.
- Las funciones de conmutación y multiplexación en ATM se pueden implementar en *hardware*.
- ATM utiliza multiplexación por división en el tiempo asíncrona y está basada en circuitos virtuales permanentes.
- La interfaz usuario-red (UNI) es la interfaz situada entre el usuario y un conmutador ATM.
- La interfaz red-red (NNI) es la interfaz situada entre dos conmutadores ATM.
- La conexión entre dos sistemas finales se lleva a cabo mediante caminos de transmisión (TP), caminos virtuales (VP) y circuitos virtuales (VC).
- La combinación de un identificador de camino virtual (VPI) y un identificador de circuito virtual (VCI) identifica una conexión virtual.
- ATM puede utilizar circuitos virtuales permanentes (PVC) o circuitos virtuales conmutados (SVC).
- Un conmutador ATM se puede clasificar en un conmutador VP o en un conmutador PVC. El primero encamina las celdas utilizando solo el VPI; el último encamina las celdas utilizando el VPI y el VCI.
- Pueden servir como conmutadores ATM, un conmutador de barras cruzadas, un conmutador de banyan, un conmutador eliminatorio y un conmutador de Batcher-banyan.
- El estándar ATM define tres niveles:
  a. Nivel de adaptación de aplicación (AAL): acepta las transmisiones de los servicios de nivel superior y las proyecta en celdas ATM.
  b. Nivel ATM: proporciona servicios de encaminamiento, de gestión de tráfico, conmutación y multiplexación.
  c. Nivel físico: define el medio de transmisión, la transmisión de bits, la codificación y la transformación eléctrica a óptica.
- El nivel AAL se divide en dos subniveles:
  a. Subnivel de convergencia (CS): añade sobrecarga y manipula el flujo de datos en la estación emisora; realiza la función inversa en la estación receptora.
  b. Segmentación y reensamblado (SAR): en la estación emisora, segmenta el flujo de bits en paquetes del mismo tamaño; añade cabeceras y colas. En la estación receptora se realizan las funciones inversas.
- Existen cuatro tipos de AAL, cada uno para un tipo específico de datos:

a. AAL1: flujo constante de bits
b. AAL2: flujo variable de bits
c. AAL3/4: conmutación de paquetes convencional (enfoque basado en circuitos virtuales o en datagramas)
d. AAL5: paquetes que no requieren información del nivel SAR

- En el nivel ATM, se añade una cabecera de 5 bytes a cada segmento de 48 bytes.
- Los conmutadores en ATM proporcionan conmutación y multiplexación.
- Una clase de servicio en ATM está definida por el atributo que define la velocidad que requiere un usuario.
- Los atributos de calidad de servicio (QoS) están relacionados con el rendimiento de la conexión y se pueden clasificar en atributos relacionados con el usuario y en atributos relacionados con la red.
- Los descriptores de tráfico implementan las clases de servicio y los atributos de QoS.
- ATM, aunque se diseño inicialmente como una tecnología WAN, también se emplea en LAN.
- La emulación de red de área local (LANE) permite a un conmutador ATM funcionar como un conmutador LAN.

19.10. MATERIAL PRÁCTICO

Preguntas de revisión

1. ¿Qué seis requisitos debe tener la infraestructura de una superautopista de la información?
2. ¿Por qué la multiplexación es más eficiente si todas las unidades de datos son del mismo tamaño?
3. Indique las relaciones que existen entre la longitud del retardo, el tamaño de la unidad de datos y la transmisión de vídeo y audio de tiempo real.
4. ¿En qué se diferencia la interfaz UNI de la interfaz NNI?
5. ¿Qué relación existe entre un TP, un VP y un VC?
6. ¿Cómo se identifica en ATM una conexión virtual?
7. ¿Cómo se multiplexan las celdas en ATM?
8. Describa el formato de una celda ATM.
9. Compare y diferencie un conmutador VP y un conmutador VPC.
10. ¿Por qué es mejor el conmutador Batcher-banyan que el conmutador banyan?
11. Describa los diferentes métodos de detección de errores en cada uno de los tipos de AAL.
12. ¿Qué tipo de AAL no añade cabecera en el nivel SAR?
13. ¿Por qué se necesita relleno en las celdas ATM?
14. ¿Cuál es el objetivo de las clases de servicios?
15. ¿Qué diferencia existe entre el PCR y el MCR?
16. ¿Cuál es el objetivo del bit CLP en la cabecera del nivel ATM?
17. ¿Por qué hay 12 bits en una conexión NNI y 8 bits en una conexión UNI?
18. Indique los niveles ATM y sus funciones.
19. Indique las cuatro clases de servicio de ATM y el tipo de clientes para el que se utiliza.

20. ¿Cómo se utiliza ATM en una WAN?
21. Describa los problemas que existen cuando se utiliza ATM en una LAN.
22. ¿Cuál es el objetivo del *software* cliente/servidor LES?
23. ¿Cuál es el objetivo del *software* cliente/servidor BUS?

Preguntas con respuesta múltiple

24. ATM puede utilizar ________ como medio de transmisión.
    a) cable de par trenzado
    b) cable coaxial
    c) cable de fibra óptica
    d) todos los anteriores
25. En las comunicaciones de datos, ATM es un acrónimo de ________.
    a) máquina contadora automática
    b) modelo de transmisión automático
    c) método de telecomunicación asíncrono
    d) modo de transferencia asíncrono
26. Debido a que ATM ________, lo que significa que las celdas siguen el mismo camino, las celdas no llegan normalmente fuera de orden.
    a) es asíncrono
    b) es multiplexado
    c) es una red
    d) utiliza encaminamiento basado en circuitos virtuales
27. ¿Qué nivel de protocolo ATM reformatea los datos recibidos de otras redes?
    a) físico
    b) ATM
    c) adaptación de aplicación
    d) adaptación de datos
28. ¿Qué nivel en el protocolo ATM tiene una celda de 53 bytes como producto final?
    a) físico
    b) ATM
    c) adaptación de aplicación
    d) transformación de celdas
29. ¿Qué tipo de AAL puede procesar mejor un flujo de datos que no tiene una tasa de bits constante?
    a) AAL1
    b) AAL2
    c) AAL3/4
    d) AAL5
30. ¿Qué tipo de AAL está diseñada para soportar un flujo de datos con una tasa de bits constante?
    a) AAL1
    b) AAL2
    c) AAL3/4
    d) AAL5
31. ¿Qué tipo de AAL está diseñado para soportar conmutación de paquetes convencional que utiliza circuitos virtuales?

a) AAL1
b) AAL2
c) AAL3/4
d) AAL5

32. ¿Qué tipo de AAL está diseñado para soportar SEAL?
a) AAL1
b) AAL2
c) AAL3/4
d) AAL5

33. El producto final del SAR es un paquete de datos que ______.
a) es de longitud variable
b) tiene 48 bytes
c) tiene de 44 a 48 bytes
d) es mayor de 48 bytes

34. En el subnivel SAR de ______, se añade un byte de cabecera a 47 bytes de datos.
a) AAL1
b) AAL2
c) AAL3/4
d) AAL5

35. En el subnivel SAR de ______, se añade 1 byte de cabecera y dos de cola a una carga de 45 bytes.
a) AAL1
b) AAL2
c) AAL3/4
d) AAL5

36. En el subnivel SAR de ______, la carga es de 48 bytes y no se añade cabecera ni cola.
a) AAL1
b) AAL2
c) AAL3/4
d) AAL5

37. Un campo ______ en la cabecera de una celda UNI se utiliza para realizar la conexión.
a) VPI (identificador de camino virtual)
b) VCI (identificador de circuito virtual)
c) CLP (prioridad de pérdida de celda)
d) GFC (control de flujo genérico)

38. Un campo _____ en la cabecera de una celda del nivel ATM determina si la celda puede descartarse.
a) VPI (identificador de camino virtual)
b) VCI (identificador de circuito virtual)
c) CLP (prioridad de pérdida de celda)
d) GFC (control de flujo genérico)

39. ATM multiplexa las celdas utilizando _____.
a) FDM asíncrono
b) FDM síncrono
c) TDM asíncrono
d) TDM síncrono

40. En una red ATM, todas las celdas que pertenecen al mismo mensaje siguen el mismo _____ y mantienen su orden inicial hasta que alcanzan su destino
a) camino de transmisión
b) camino virtual
c) circuito virtual
d) ninguno de los anteriores

41. Un _____ proporciona una conexión o conjunto de conexiones entre conmutadores.
a) camino de transmisión
b) camino virtual
c) circuito virtual
d) ninguno de los anteriores

42. Un ______ es la conexión física entre un sistema final y un conmutador o entre dos conmutadores.
a) camino de transmisión
b) camino virtual
c) circuito virtual
d) ninguno de los anteriores

43. El VPI de una interfaz UNI es de _____ bits de longitud.
a) 8
b) 12
c) 16
d) 24

44. El VPI de una interfaz NNI es de _____ bits de longitud.
a) 8
b) 12
c) 16
d) 24

45. En un conmutador VP el _____ no cambia mientras que el _____ sí.
a) VPI; VCI
b) VCI; CPI
c) VP; VPC
d) VPC; VP

46. En un conmutador _____, el VPI y el VCI pueden cambiar.
a) VP
b) VPC
c) VPI
d) VCI

47. El conmutador _____ es un conmutador multietapa con microconmutadores en cada etapa que encaminan las celdas en función del puerto de salida.
a) de barras cruzadas
b) de knockout
c) Banyan
d) Batcher-Banyan

48. El conmutador _____ utiliza un distribuidor y una cola que dirige las celdas a las colas de salida.
a) de barras cruzadas
b) de knockout

c) Banyan
d) Batcher-Banyan

49. El conmutador ____tiene $n \times m$ puntos de cruce para n entradas y m salidas y no resuelve las colisiones.
a) de barras cruzadas
b) de knockout
c) Banyan
d) Batcher-Banyan

50. El conmutador _____ elimina la posibilidad de colisión interna en el conmutador.
a) de barras cruzadas
b) de knockout
c) Banyan
d) Batcher-Banyan

51. _____ de celdas es la diferencia entre el CTD máximo y mínimo.
a) la tasa de pérdidas
b) el retardo en la transferencia
c) la variación en el retardo
d) la tasa de errores

52. ____ de celdas es la tasa de celdas perdida.
a) la tasa de pérdidas
b) el retardo en la transferencia
c) la variación en el retardo
d) la tasa de errores

53. La clase de servicio _____ es particularmente adecuada para aplicaciones con datos a ráfagas.
a) CBR
b) VBR
c) ABR
d) UBR

54. La clase de servicio _____ es adecuada para clientes que no necesitan transmisión de vídeo en tiempo real.
a) CBR
b) VBR
c) ABR
d) UBR

55. El _____ es mayor que el SCR.
a) PCR
b) MCR
c) CVDT
d) todos los anteriores

56. _____ mide la variación en el instante de transmisión de celdas.
a) SCR
b) PCR
c) MCR
d) CVDT

57. Si el SCR es 60.000, el PCR 70.000 y el MCR es 55.000, ¿cuál es el mínimo número de celdas que se pueden enviar por segundo?
a) 55.000
b) 60.000
c) 70.000
d) 5.000

58. El ____ es el porcentaje de celdas entregadas con error.
a) CLR
b) CTD
c) CDV
d) CER

59. Si el CTD máximo es de 10 microsegundos y el CTD mínimo es de 1 microsegundo, el _____ es de 9 microsegundos.
a) CLR
b) CTD
c) CDV
d) CER

60. _____ es un *software* que permite a un conmutador ATM emular un conmutador LAN.
a) LEC
b) BUS
c) BES
d) LANE

61. El servidor _____ permite la difusión en una LAN ATM.
a) LEC
b) BUS
c) BVD
d) BES

Ejercicios

62. Un nivel AAL1 recibe datos a 2 Mbps, ¿cuántas celdas se crean por segundo en el nivel ATM?
63. ¿Cuál es la eficiencia total de ATM que utiliza AAL1 (bits recibidos entre el total de bits enviados)?
64. Un nivel AAL2 recibe datos a 2 Mbps, ¿cuántas celdas por segundo se crean en el nivel ATM?
65. ¿Cuál es la eficiencia total de ATM que utiliza AAL2 (bits recibidos entre el total de bits enviados)?
66. Si una aplicación utiliza AAL3/4 y hay 47.787 bytes de datos que llegan del subnivel CS, ¿cuántos bytes de relleno se necesitan? ¿Cuántas unidades de datos pasan del subnivel SAR al nivel de ATM? ¿Cuántas celdas se producen?
67. ¿La eficiencia de una red ATM que utiliza AAL3/4 depende del tamaño del paquete? Razone su respuesta.
68. ¿Cuál es el mínimo número de celdas que se obtienen de un paquete de entrada en el nivel AAL3/4? ¿Cuál es el número máximo de celdas que se obtienen de un paquete de entrada?
69. ¿Cuál es el mínimo número de celdas que se obtienen de un paquete de entrada en el nivel AAL5? ¿Cuál es el número máximo de celdas que se obtienen de un paquete de entrada?
70. Explique por qué no es necesario el relleno en AAL1 y AAL2, pero sí lo es en AAL3/4 y AAL5.

71. Utilizando AAL3/4, indique la situación en la que se necesitan _____ bytes de relleno.
    a) cero (no hay relleno)
    b) 40
    c) 43
72. Utilizando AAL5, indique la situación en la que se necesitan _____ bytes de relleno.
    a) cero (no hay relleno)
    b) 40
    c) 47
73. En una celda de 53 bytes, ¿cuántos bytes pertenecen al usuario en (asumiendo que no hay relleno):
    a) AAL1
    b) AAL2
    c) AAL3/4 (no es la primera ni la última celda)
    d) AAL5 (no es la primera ni la última celda)
74. Utilizando el Ejercicio 73, ¿cuál es la eficiencia de cada AAL?
75. Compare AAL1 y AAL2. Si los dos reciben la misma tasa de bits, ¿cuál produce más celdas?
76. Complete la Tabla 19.1 indicando qué subnivel está activo en los diferentes AAL.
77. Complete la Tabla 19.2 con el tamaño de la unidad de datos en el subnivel SAR para todos los AAL.
78. Ponga una «X» en la columna apropiada de la Tabla 19.3 para los campos utilizados por el subnivel CS en cada AAL.
79. Ponga una «X» en la columna apropiada de la Tabla 19.4 para los campos utilizados por el subnivel SAR en cada nivel AAL.
80. Indique la salida del multiplexor ATM de la Figura 19.37.
81. ¿Cuántas conexiones virtuales se pueden definir en una interfaz UNI? ¿Cuántas conexiones virtuales se pueden definir en una interfaz NNI?
82. Un usuario quiere enviar una media de una celda por microsegundo con la posibilidad de enviar una celda por nanosegundo en momentos pico. El usuario, sin embargo, necesita la garantía de enviar una celda cada milisegundo. Responda a las siguientes preguntas:

Tabla 19.1. *Ejercicio 76*

Subnivel	*AAL1*	*AAL2*	*AAL3/4*	*AAL5*
CS				
SAR				

Tabla 19.2. *Ejercicio 77*

Subnivel	*AAL1*	*AAL2*	*AAL3/4*	*AAL5*
SAR				

    a) ¿Qué es el MCR?
    b) ¿Qué es el PCR?
    c) ¿Qué es el SCR?
83. Si cada celda tarda 10 microsegundos en alcanzar su destino, ¿cuál es el CTD?
84. Una red pierde 5 celdas por cada 10.000 y 2 tienen errores. ¿Cuál es el CLR? ¿Cuál es el CER?

Tabla 19.3. *Ejercicio 76*

Subnivel	*AAL1*	*AAL2*	*AAL3/4*	*AAL5*
T				
BT				
BA				
AL				
ET				
L				
UU				

Tabla 19.4. *Ejercicio 79*

Subnivel	*AAL1*	*AAL2*	*AAL3/4*	*AAL5*
CSI				
SC				
CRC				
P				
IT				
LI				
ST				
MID				

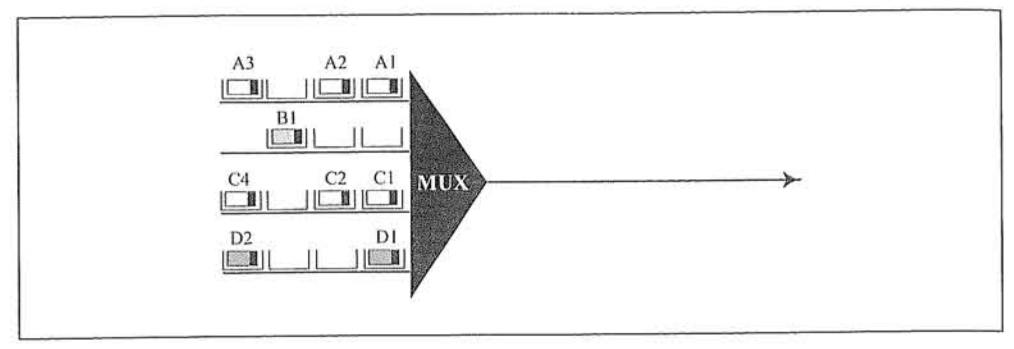


Figura 19.37. *Ejercicio 80.*

CAPÍTULO 20

SONET/SDH

El gran ancho de banda que ofrece el cable de fibra óptica es adecuado para las tecnologías que requieren las más altas tasas de datos de hoy en día (como la videoconferencia) y para transportar al mismo tiempo señales de un gran número de tecnologías de velocidades más bajas. Por esta razón, la importancia de la fibra óptica crece junto con el desarrollo de tecnologías que requieren para transmisión altas tasas de datos o grandes anchos de banda. Dada su importancia se hace necesario su estandarización. Sin estándares, la interconexión entre sistemas propietarios existentes sería imposible. Los Estados Unidos (ANSI) y Europa (ITU-T) han respondido definiendo estándares que, aunque independientes, son fundamentalmente similares y en última instancia compatibles. El estándar ANSI se denomina **Red óptica síncrona (SONET,** *Synchronous Optical Network*). El estándar de la ITU-T se denomina **Jerarquía digital síncrona (SDH,** *Synchronous Digital Hierarchy*). Estas dos normalizaciones son casi idénticas.

> SONET fue desarrollado por ANSI. SDH fue desarrollado por la ITU-T.

Entre los aspectos considerados por los diseñadores de SONET y SDH, hay tres de particular interés para nosotros. En primer lugar, SONET/SDH es una red síncrona. Se utiliza un único reloj para gestionar la temporización de las transmisiones y equipos a través de la red completa. Esta sincronización sobre toda la red añade una cierta capacidad de predicción al sistema. Esta capacidad de predicción, junto con un potente diseño de tramas, permite que los canales individuales sean multiplexados, mejorando por tanto la velocidad y reduciendo el coste.

En segundo lugar, SONET/SDH contiene recomendaciones para la normalización de los equipos de transmisión de fibra óptica (FOTS) vendidos por diferentes fabricantes. En tercer lugar, las especificaciones físicas de SONET/SDH y el diseño de las tramas incluye mecanismos que permiten transportar señales de sistemas tributarios incompatibles (particularmente los servicios asíncronos como DS-0 y DS-1). Es esta flexibilidad la que da a SONET una buena reputación para la conectividad universal.

Es importante hacer notar que SONET es un mecanismo de transporte multiplexado y como tal puede ser portador de servicios de banda ancha, particularmente ATM y RDSI-BA.

20.1. SEÑALES DE TRANSPORTE SÍNCRONAS

Como lo primero es la flexibilidad, SONET define una jerarquía de niveles de señalización denominados **señales de transporte síncronas (STS)**. Cada nivel STS (STS-1 a STS-192) soporta una cierta tasa de datos, especificada en megabits por segundo (véase la Tabla 20.1). Los enlaces físicos definidos para transportar cada nivel de STS se denominan **portadoras ópticas (OC)**. Los niveles OC describen las especificaciones físicas y conceptuales de los enlaces requeridos para admitir cada nivel de señalización. La implementación real de estas especificaciones se deja a los fabricantes. Actualmente, las implementaciones más populares son OC-1, OC-3, OC-12 y OC-48.

Tabla 20.1. *Velocidades de SONECT/SDH*

STS	*OC*	*Velocidad (Mbps)*	*STM*
STS-1	OC-1	51,840	
STS-3	OC-3	155,520	STM-1
STS-9	OC-9	466,560	STM-3
STS-12	OC-12	622,080	STM-4
STS-18	OC-18	933,120	STM-6
STS-24	OC-24	1.244,160	STM-8
STS-36	OC-36	1.866,230	STM-12
STS-48	OC-48	2.488,320	STM-16
STS-96	OC-96	4.976,640	STM-32
STS-192	OC-192	9.953,280	STM-64

La Tabla 20.1 revela algunos puntos interesantes. En primer lugar, el nivel más bajo en esta jerarquía tiene una tasa de datos de 51,840 Mbps, que es mayor que la ofrecida por el servicio DS-3 o por la línea T-3 (44,736 Mbps). Esto significa que el nivel más bajo de SONET permite velocidades mayores que el nivel T más alto. (T-3 es la línea eléctrica común más alta de las disponibles comercialmente hoy en día, aunque está definida la línea T-4.) De hecho, STS-1 está diseñada para alojar las tasas de datos equivalentes a las de la DS-3. La diferencia en capacidad se debe a las necesidades de sobrecarga de los sistemas ópticos.

En segundo lugar, la velocidad de STS-3 es exactamente tres veces la velocidad de STS-1; y la velocidad de STS-9 es exactamente la mitad de STS-18. Estas relaciones significan que 18 canales STS-1 pueden multiplexarse en un canal STS-18, seis canales STS-3 se pueden multiplexar en un canal STS-18, y así sucesivamente. Como se puede ver, el concepto de jerarquía aquí es similar al de las señales DS y líneas T (véase el Capítulo 8).

SDH especifica un sistema similar denominado **módulo de transporte síncrono (STM)**. El objetivo del STM es ser compatible con las jerarquías existentes en Europa, como las líneas E y con los niveles STS. Para ello, el nivel más bajo de STM, STM-1, se ha definido a 155,520 Mbps, que es exactamente igual a la velocidad de STS-3.

20.2. CONFIGURACIÓN FÍSICA

La Figura 20.1 muestra los dispositivos utilizados en un sistema de transmisión SONET y algunas formas de organizar y enlazar estos dispositivos.

Dispositivos SONET

La transmisión con SONET depende de tres dispositivos básicos: multiplexores STS, regeneradores y multiplexores de inserción/extracción (multiplexores *add/drop*). Los multiplexores STS marcan el comienzo y el final de un enlace SONET. Proporcionan la interfaz entre una red tributaria y la red SONET. Puede haber cualquier número de dispositivos entre ellos, y estos dispositivos pueden tener cualquier configuración requerida por el sistema. Los regeneradores extienden la longitud de los posibles enlaces entre el generador y el receptor. Los multiplexores de inserción/extracción permiten la inserción y extracción de caminos SONET.

- **Multiplexor/demultiplexor STS.** Un multiplexor/demultiplexor STS o multiplexa las señales de varias fuentes en una señal STS o demultiplexa una señal STS en señales para diferentes destinos.
- **Regenerador.** Un **regenerador** STS es un repetidor (véase el Capítulo 21) que recibe una señal óptica y la regenera. Los regeneradores en este sistema, sin embargo, añaden una función a los repetidores de nivel físico. Un regenerador SONET reemplaza alguna información de sobrecarga existente (información de cabece-

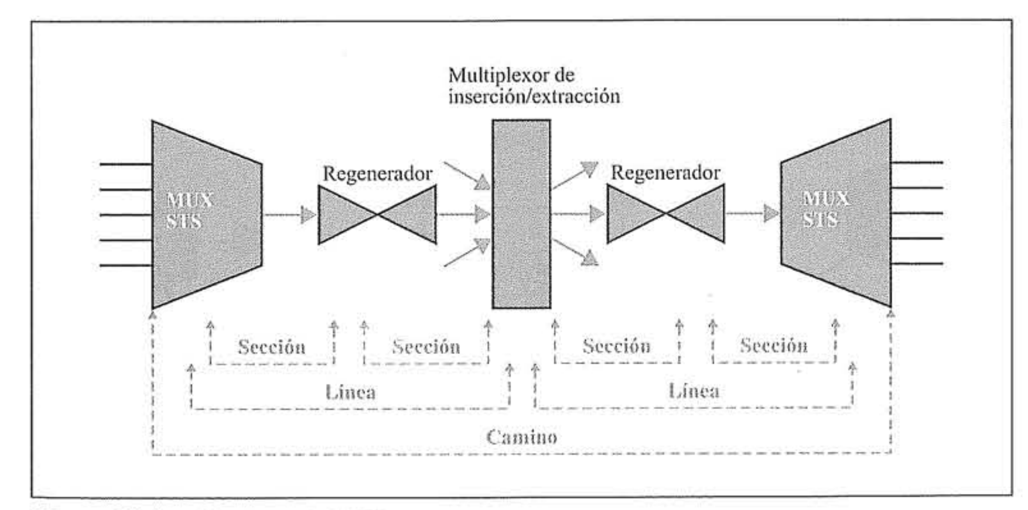


Figura 20.1. *Un sistema SONET.*

ra) con nueva información. Estos dispositivos funcionan en el nivel de enlace de datos.

- **Multiplexor de inserción/extracción.** Un **multiplexor de inserción/extracción** puede añadir señales que vienen de fuentes diferentes en un camino o eliminar una señal deseada de un camino y redirigirla sin demultiplexar la señal entera. En lugar de depender de la temporización y las posiciones de los bits, los multiplexores de inserción/extracción utilizan la información de la cabecera, como direcciones y punteros (descritos más adelante en esta sección) para identificar los flujos individuales.

En la sencilla configuración mostrada en la Figura 20.1, varias señales electrónicas llegan a un multiplexor STS, donde se combinan en una única señal óptica. La señal óptica se transmite a un regenerador, donde se regenera sin ruido y se mejora. Las señales regeneradas de varios orígenes son llevadas después a un multiplexor de inserción/extracción. El multiplexor de inserción/extracción reorganiza estas señales, si es necesario, y las envía de acuerdo a la información de las tramas de datos. Estas señales remultiplexadas son enviadas a otro regenerador y de aquí al multiplexor STS de recepción, donde se convierten a un formato utilizable por los enlaces de recepción.

Secciones, línea y caminos

Como se puede ver en la Figura 20.1, los diversos niveles de las conexiones SONET se denominan secciones, líneas y caminos. Una sección es el enlace óptico que conecta dos dispositivos vecinos: multiplexor a multiplexor, multiplexor a regenerador o regenerador a regenerador. Una línea es la porción de red situada entre dos multiplexores: un multiplexor STS a un multiplexor de inserción/extracción, dos multiplexores de inserción/extracción o dos multiplexores STS. Un camino es la porción extremo a extremo de la red situada entre dos multiplexores STS. En una red SONET sencilla, compuesta de dos multiplexores STS enlazados directamente uno a otro, la sección, la línea y el camino son lo mismo.

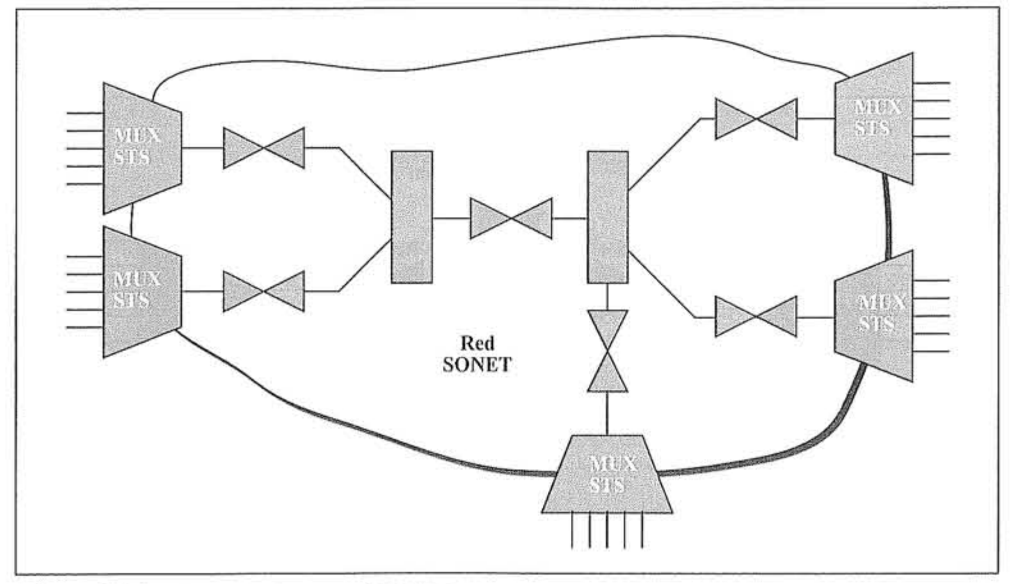


Figura 20.2. *Ejemplo de una red SONET.*

La Figura 20.2 muestra una red SONET típica con cinco multiplexores/demultiplexores STS, dos multiplexores de inserción/extracción y seis regeneradores.

20.3. NIVELES DE SONET

El estándar SONET incluye cuatro niveles funcionales: el nivel fotónico, el nivel de sesión, el nivel de línea y el nivel de camino. Estos niveles se corresponden normalmente con el primer nivel (físico) del modelo OSI. En realidad, se corresponden con los niveles físico y de enlace de datos (véase la Figura 20.3). Las cabeceras añadidas a las tramas en los diversos niveles se tratan con posterioridad en este capítulo.

> SONET define cuatro niveles. El nivel fotónico es el más bajo y realiza actividades de nivel físico. Los niveles de sección, de línea y de camino se corresponden con el nivel de enlace de datos del modelo OSI.

Nivel fotónico

El **nivel fotónico** se corresponde con el nivel físico del modelo OSI. Incluye las especificaciones físicas para el canal de fibra óptica, la sensibilidad del receptor, las funciones de multiplexación y otras. SONET utiliza codificación NRZ con la presencia de luz representando un 1 y la ausencia de luz representando un 0.

Nivel de sección

El **nivel de sección** se encarga de la transferencia de una señal a través de la sección física. Se encarga de la construcción de tramas, la mezcla y el control de errores. La sobrecarga del nivel de sección se añade a la trama en este nivel.

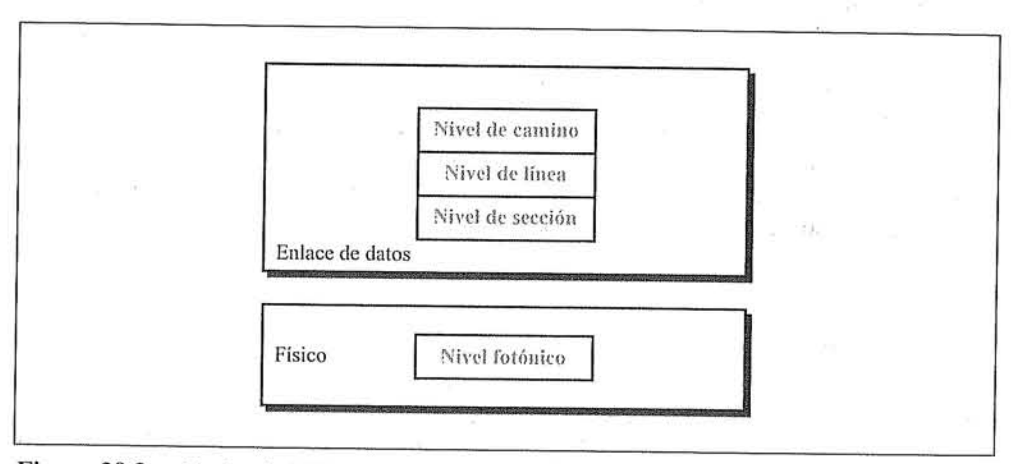


Figura 20.3. *Niveles de SONET.*

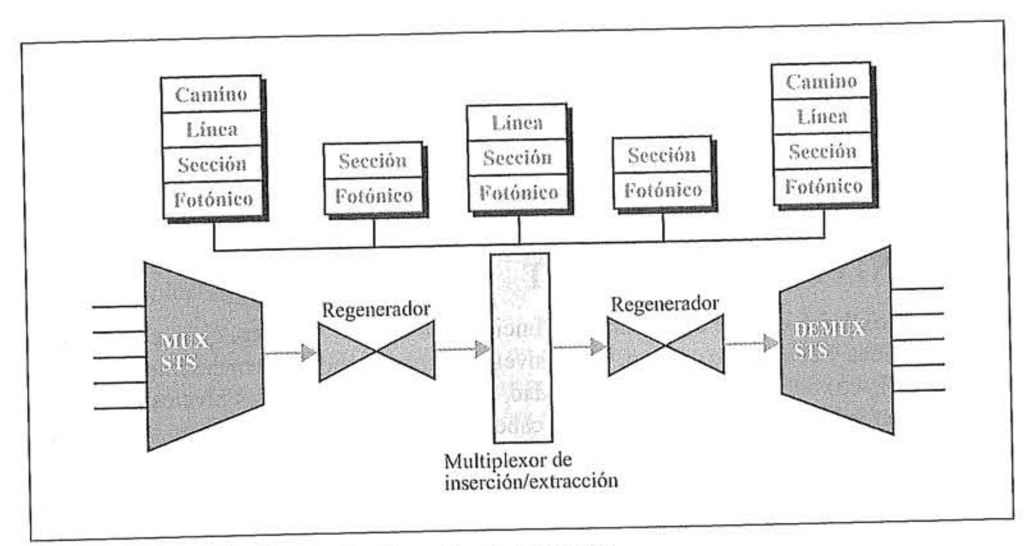


Figura 20.4. *Relación entre los dispositivos y los niveles.*

Nivel de línea

El **nivel de línea** es responsable de la transferencia de una señal a través de la línea física. La sobrecarga del nivel de línea se añade a la trama de este nivel. Los multiplexores STS y los multiplexores de inserción/extracción ofrecen funciones de nivel de línea.

Nivel de camino

El **nivel de camino** se encarga de la transferencia de una señal desde su fuente óptica hasta su destino óptico. En la fuente óptica, la señal se cambia de una forma electrónica a una forma óptica, se multiplexa con otras señales y se encapsula en una trama. En el destino óptico, la trama recibida es demultiplexada y las señales ópticas individuales se convierten a sus correspondientes formas electrónicas. La sobrecarga del nivel de camino se añade en este nivel. Los multiplexores STS ofrecen funciones de nivel de camino.

Relación entre los dispositivos y los niveles

La Figura 20.4 muestra la relación entre los dispositivos utilizados en la transmisión SONET y los cuatro niveles del estándar. Como se puede observar, un multiplexor STS es un dispositivo de cuatro niveles. Un multiplexor de inserción/extracción es un dispositivo de tres niveles. Un regenerador es un dispositivo de dos niveles.

20.4. TRAMAS DE SONET

Los datos recibidos de la interfaz electrónica, como una línea T-1, se encapsulan en una trama en el nivel de camino junto con la sobrecarga. La sobrecarga adicional se añade primero en el nivel de línea y luego en el nivel de sección. Finalmente, la trama pasa al nivel fotónico donde se transforma en una señal óptica (véase la Figura 20.5).

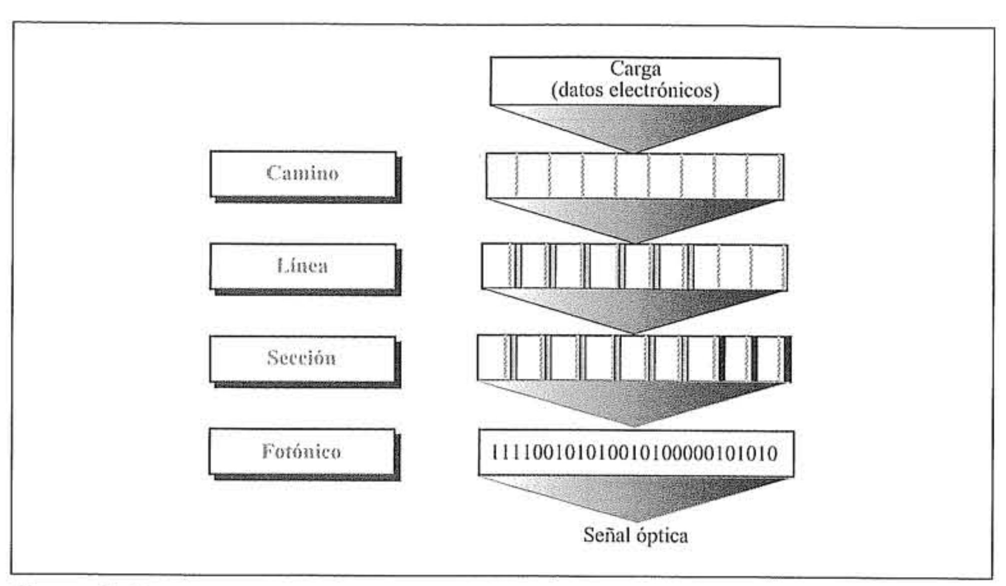


Figura 20.5. *Encapsulado de datos en SONET.*

Observe que, sin embargo, la sobrecarga de SONET no se añade como cabeceras y colas como se ha visto en otros protocolos. En lugar de ello, SONET inserta sobrecarga en diversas posiciones situadas dentro de la trama. Las posiciones y significados de estas inserciones se discuten a continuación.

Formato de la trama

El formato básico de una trama STS-1 en el nivel fotónico se muestra en la Figura 20.6. Cada trama contiene 6.480 bits (810 octetos). STS-1 transmite a una velocidad de 51,840 Mbps.

Una trama SONET es una matriz de filas de 90 octetos cada una, con una total de 810 octetos (véase la Figura 20.7).

Las primeras tres columnas de la trama se utilizan para la sobrecarga del nivel de línea y de sección. Las tres filas superiores de la primera columna se utilizan para la **sobrecarga de la sección.** Las seis inferiores para la **sobrecarga de la línea.** El resto de la trama se denomina envolvente de carga útil síncrona (SPE). Contiene datos de usuario y detalles sobre el

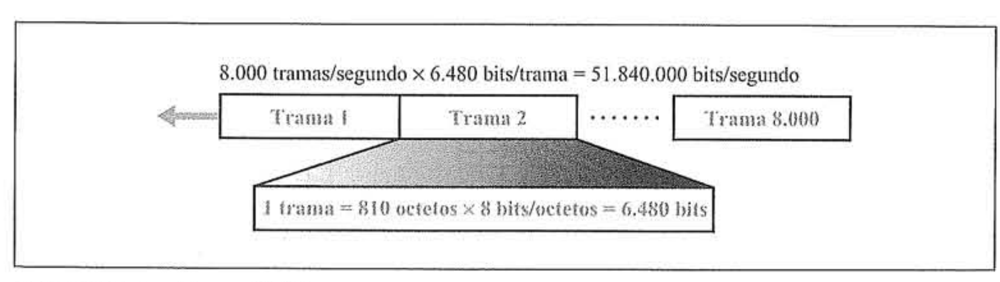


Figura 20.6. *Trama STS-1.*

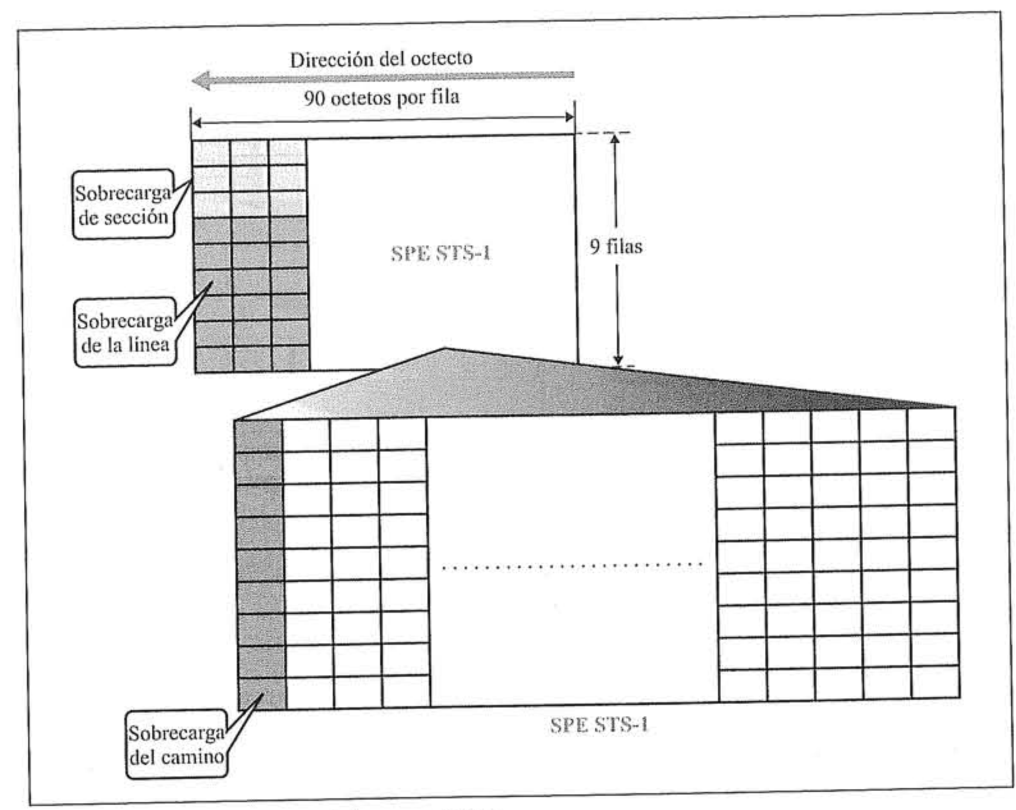


Figura 20.7. *Sobrecargas de la trama STS-1.*

coste y el gasto requerido por la transmisión (si lo hay). Una columna de la SPE, sin embargo, se utiliza para la **sobrecarga del camino** (normalmente la primera). La sobrecarga del camino incluye información de seguimiento del camino extremo a extremo.

Sobrecarga de sección

La sobrecarga de sección contiene nueve octetos. Las etiquetas, funciones y organización de estos octetos se muestra en la Figura 20.8.

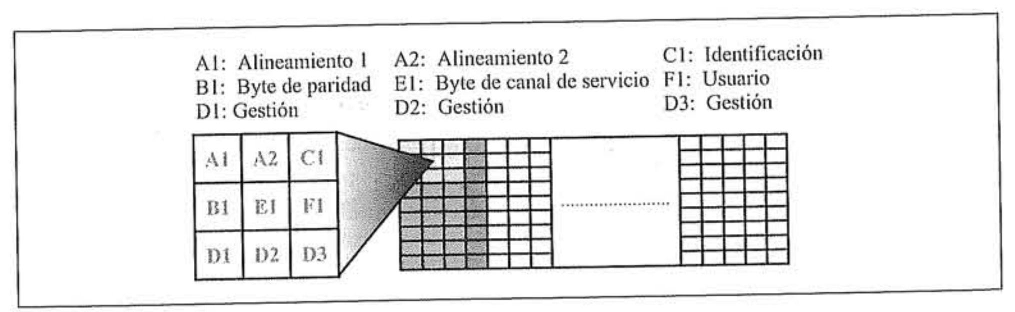


Figura 20.8. *Trama STS-1: sobrecarga de sección.*

- **Bytes de alineamiento (A1 y A2).** Los bytes A1 y A2 se utilizan para la delimitación de las tramas y para la sincronización y se denominan bytes de alineamiento. Estos bytes alertan al receptor de que una trama está llegando y dan al receptor un patrón de bits predeterminado sobre el cual sincronizar. Los patrones de bits para estos dos bytes, tanto en hexadecimal como en binario, son:

  A1 ⇨ F6 ⇨ 11110110
  A2 ⇨ 28 ⇨ 00101000

- **Byte de identificación (C1).** El byte C1 almacena un identificador único para la trama STS-1. Este byte es necesario cuando varias STS-1 se multiplexan para crear un STS con velocidad mayor (STS-3, STS-9, STS-12, etc.). La información de este byte permite que las señales sean reconocidas fácilmente una vez demultiplexadas.
- **Byte de paridad (B1).** El byte B1 se utiliza para la paridad de los bits entrelazados (BIP-8). Su valor está basado en la cabecera de la sección de la STS-1 anterior, y se inserta en la actual STS-1. Funciona como un código de redundancia cíclico.
- **Byte de canal de servivio (E1).** Estos bytes en tramas consecutivas forman un canal de 64 Kbps (8.000 tramas por segundo, 8 bits por trama). Este canal se utiliza para la comunicación entre regeneradores, o entre terminales y regeneradores.
- **Byte del usuario (F1).** Los bytes F1 en tramas consecutivas forman un canal de 64 Kbps que se reserva para las necesidades del usuario en el nivel de sección.
- **Bytes de gestión (D1, D1 y D3).** Los bytes D1, D2 y D3 juntos, forman un canal de 192 Kbps (3 × 8.000 × 8) denominado canal de comunicación de datos. Este canal se necesita para la señalización de la operación, administración y mantenimiento (OAM).

Sobrecarga de la línea

La sobrecarga de la línea consta de 18 bytes. Las etiquetas, funciones y organización de estos bytes se muestra en la Figura 20.9.

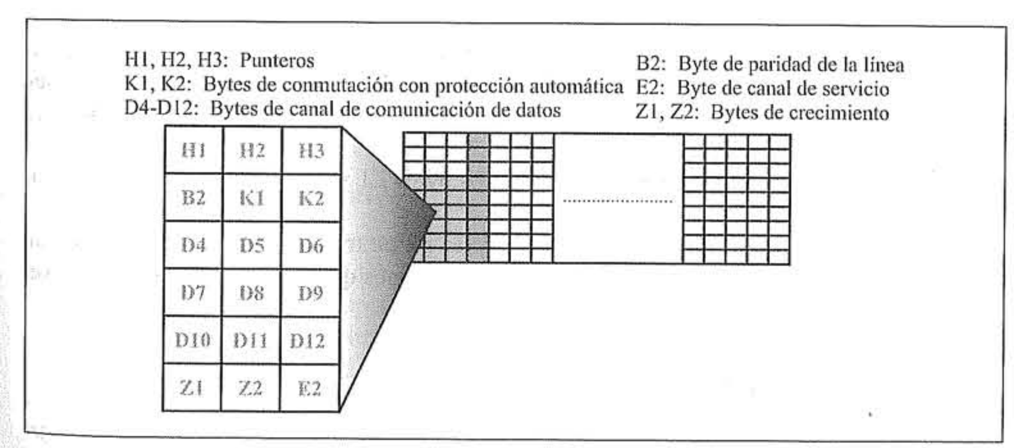


Figura 20.9. *Trama STS-1: sobrecarga de la línea.*

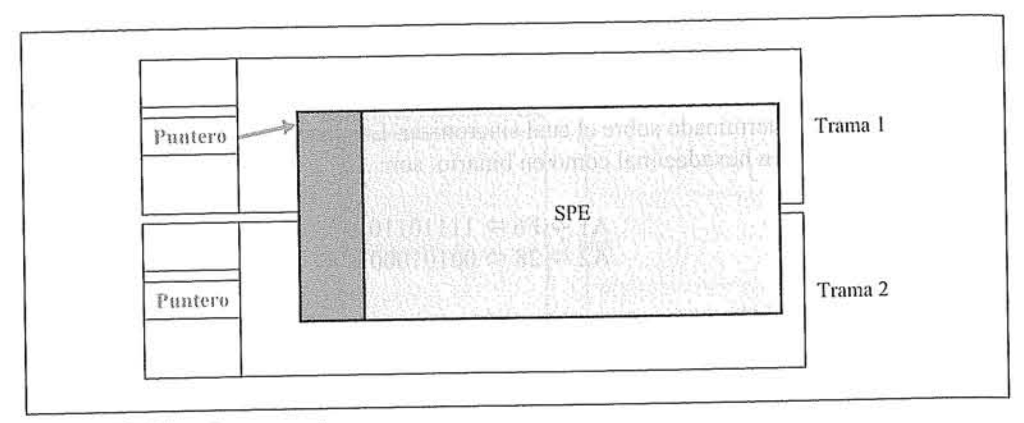


Figura 20.10. *Punteros a la carga.*

- **Bytes puntero (H1, H2 y H3).** Los bytes H1, H2 y H3 son punteros. Identifican la posición de la carga en la trama cuando la carga comienza en algún punto diferente al comienzo de la envolvente STS (véase la Figura 20.10). Los punteros son esenciales en varias situaciones. SONET es un protocolo síncrono. Las tramas se construyen haciendo corresponder la temporización de los datos de entrada con las funciones de trama de la red. Por este motivo, los datos que provienen de entradas correspondientes a una red asíncrona pueden no estar sincronizados con la SPE y pueden acabar ocupando dos tramas. Los punteros permiten a SONET hacer frente a estas discrepancias en las tramas. En estos casos, H1, H2 y H3 juntos forman un puntero al byte de comienzo de la carga. También existen otros usos más complejos para los punteros, sin embargo, una descripción de estos usos se encuentra fuera del ámbito de este libro.
- **Byte de paridad de la línea (B2).** El byte B2 se utiliza para paridad entrelazada de bits, al igual que el byte B1, pero se calcula para la cabecera de la línea.
- **Byte de conmutación con protección automática (K1 y K2).** Los bytes K1 y K2 en tramas consecutivas forman una canal de 128 Kbps utilizado para la detección automática de problemas en los equipos de terminación de la línea (por ejemplo, multiplexores).
- **Bytes de canal de comunicación de datos (D4 a D12).** Los bytes D de la sobrecarga de la línea (D4 a D12) en tramas consecutivas forman una canal de 576 Kbps que ofrecen los mismos servicios que los bytes D1-D3 (OAM), pero en el nivel de línea en lugar de en el nivel de sección.
- **Bytes para ampliaciones (Z1 y Z2).** Los bytes Z1 y Z2 se encuentran reservados para uso futuro.
- **Byte de canal de servicio (E2).** Los bytes E2 en tramas consecutivas forman un canal de 64 Kbps que ofrece las mismas funciones que el byte E1, pero en el nivel de línea.

Sobrecarga del camino

La sobrecarga en el nivel de camino consta de nueve bytes. Las etiquetas, funciones y organización de estos bytes se muestra en la Figura 20.11.

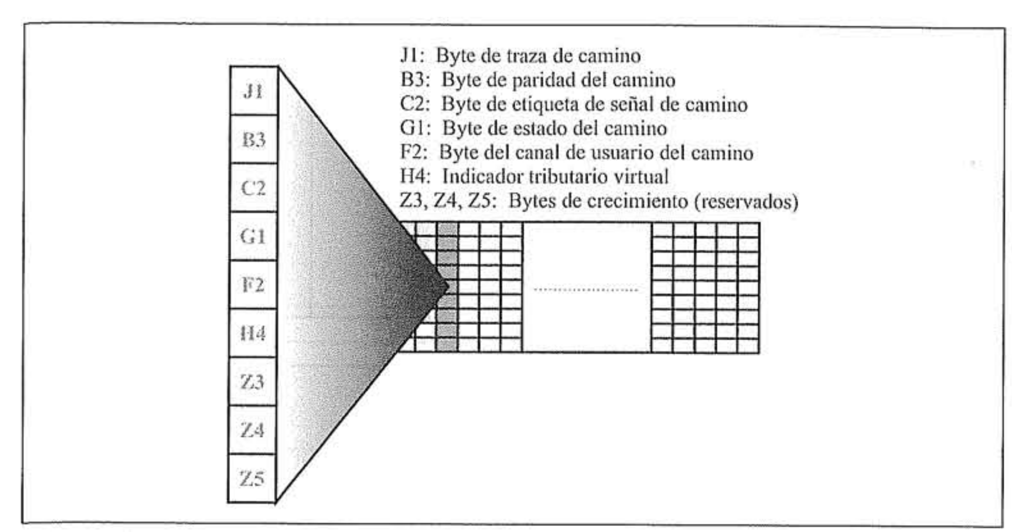


Figura 20.11. *Trama STS-1 sobrecarga del camino.*

- **Byte de traza de camino (J1).** Los bytes J1 en tramas consecutivas forman un canal de 64 Kbps utilizados para comprobar el camino. El byte J1 envía una cadena continua de 64 bits para verificar la conexión. La elección de la cadena se deja al programa de aplicación.
- **Byte de paridad del camino (B3).** El byte B3 se utiliza para la paridad de bits entrelazados, al igual que los bytes B1 y B2, pero se calcula para la cabecera del camino.
- **Byte de etiqueta de señal de camino (C2).** El byte C2 es el byte de identificación del camino. Se utiliza para identificar los diferentes protocolos utilizados en los niveles superiores (como FDI o SMDS).
- **Byte de estado del camino (G1).** El byte G1 es enviado por el receptor para comunicar su estado al emisor.
- **Byte del canal de usuario del camino (F2).** Los bytes F2 en tramas consecutivas, al igual que los bytes F1, forman un canal de 64 Kbps que se reserva para las necesidades de los usuarios, pero en el nivel de camino.
- **Indicador tributario virtual (H4).** El byte H4 es el indicador multitrama. Indica que la carga no puede entrar en una única trama. Los tributarios virtuales se discuten en la siguiente sección.
- **Bytes de crecimiento (Z3, Z4 y Z5).** Los bytes Z3, Z4 y Z5 se reservan para uso futuro.

Cargas tributarias virtuales

SONET está diseñada para transportar cargas de banda ancha. Las tasas de datos de las jerarquías digitales actuales (DS-1 a DS-3), sin embargo, son más bajas que la ofrecida por STS-1. Para hacer que SONET sea compatible hacia atrás con las jerarquías actuales, su diseño de tramas incluye un sistema de **tributarias virtuales (VT)** (véase la Figura 20.12). Una tributaria virtual es una carga parcial que se puede insertar en una STS-1 y combinar con otras cargas parciales para rellenar la trama. En lugar de usar todas las 86 columnas de la carga de una trama STS-1 para los datos que provienen de un origen, se puede subdividir la SPE y llamar a cada componente tributaria virtual.

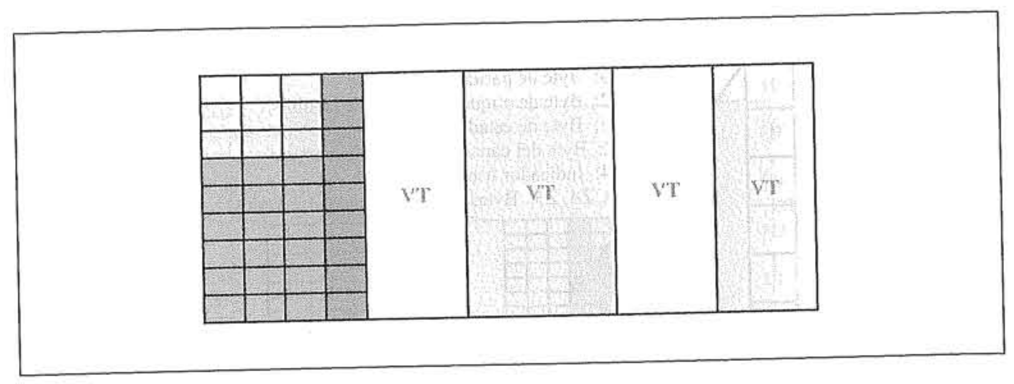


Figura 20.12. *Tributarias virtuales.*

Tipos de VT

Se han definido cuatro tipos de VT para adaptar las jerarquías digitales existentes (véase la Figura 20.13). Observe que el número de columnas permitido para cada tipo de VT puede determinarse doblando el número de identificación de tipo (VT1.5 toma tres columnas, VT2 cuatro, etc.).

- **VT1.5.** VT1.5 se utiliza para el servicio DS-1 de los EE.UU. (1,544 Mbps).
- **VT2.** VT2 se utiliza para el servicio CEPT-1 europeo (2,048 Mbps).
- **VT3.** VT3 se utiliza para el servicio DS-1C (DS-1 fraccional, 3,152 Mbps).
- **VT6.** VT6 se utiliza para el servicio DS-2 (6,312 Mbps)

Cuando dos o más tributarias se insertan en una única trama STS-1, se entrelazan columna a columna. SONET proporciona mecanismos para identificar cada VT y separarlas sin demultiplexar el flujo entero. La discusión de estos mecanismos y los problemas de control que hay detrás de ellos se encuentran fuera del ámbito de este libro.

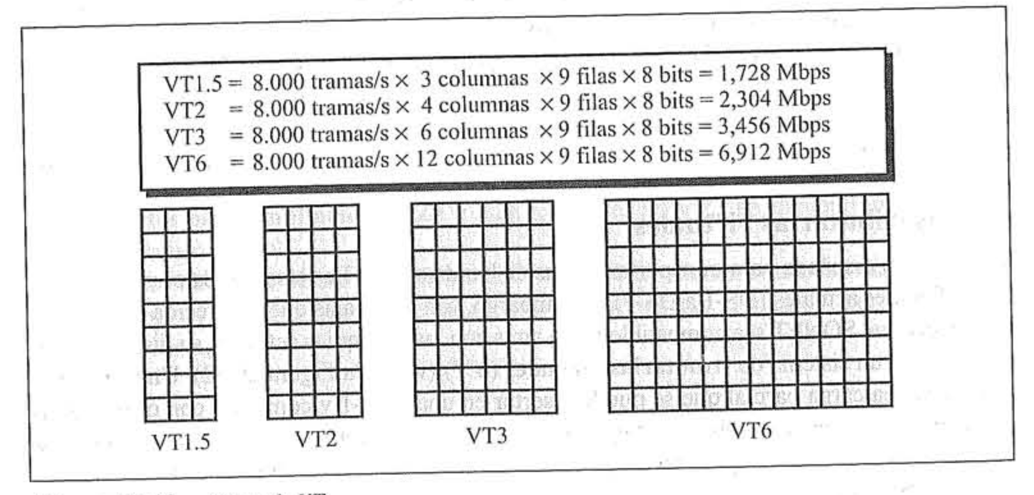


Figura 20.13. *Tipos de VT.*

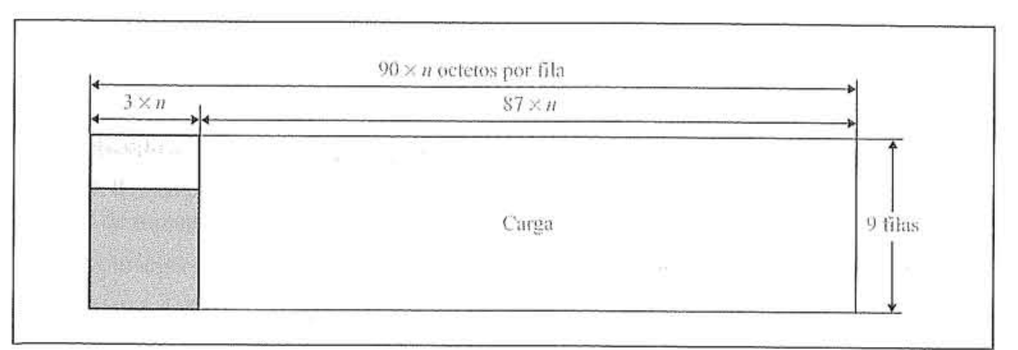


Figura 20.14. *STS-n.*

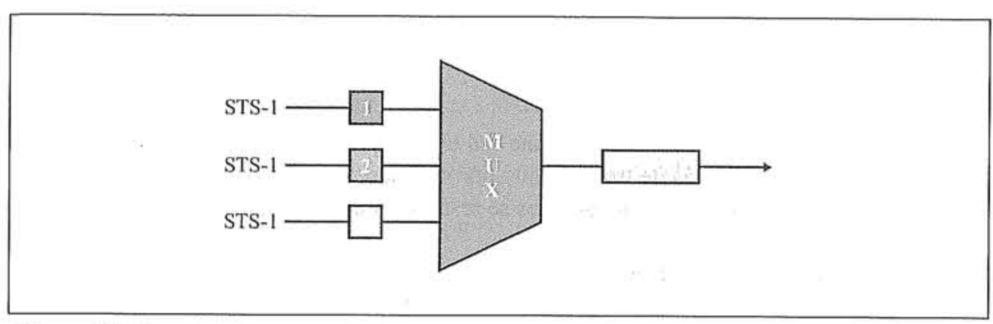


Figura 20.15. *Multiplexación de STS.*

20.5. MULTIPLEXACIÓN DE TRAMAS STS

Las tramas STS de más baja tasa se multiplexan para hacerlas compatibles con los sistemas de tasas mayores. Por ejemplo, tres STS-1 puede combinarse en una STS-3, cuatro STS-3 se pueden multiplexar en una STS-12 y así sucesivamente. El formato general para una trama STS-n compuesta de STS de baja tasa se muestra en la Figura 20.14.

La Figura 20.15 muestra cómo tres STS-1 se multiplexan en una STS-3. Para crear una STS-12 con servicios de menor tasa, se pueden multiplexar 12 STS-1 o 4 STS-3.

Convergencia de ATM a SONET/SDH

La portadora física más importante para ATM es el servicio STS-3 de SONET (STM-1 en la SDH de Europa). Debido a que ATM proporciona multiplexación, la carga entera de la trama STS-3 puede ser utilizada para transportar celdas sin la sobrecarga adicional requerida por otros sistemas. Una posible proyección de ATM a una envolvente STS-3 se muestra en la Figura 20.16.

Cada fila de la trama (envolvente) consta de 270 octetos (3 × 90). De estos, nueve octetos se utilizan para la sobrecarga de la línea y de la sección y un octeto se utiliza para la sobrecarga del camino. Los 260 octetos restantes puede transportar cerca de cinco celdas (5 × 53 = 265). La quinta trama en la primera fila debe separarse entre la primera y la segunda fila. Otras filas puede tener celdas parciales en ambos extremos.

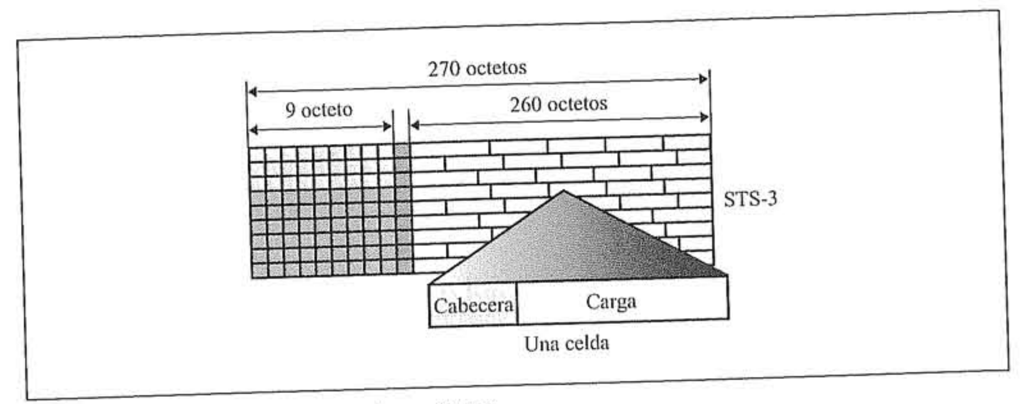


Figura 20.16. *ATM es una envolvente STS-3.*

20.6. APLICACIONES

SONET está diseñada para proporcionar una red troncal para redes de área amplia (WAM). Con una tasa de datos de más de tres gigabits por segundo, puede encontrar aplicaciones en muchas áreas. Algunas de estas aplicaciones se resumen a continuación:

- SONET puede reemplazar a las líneas T-1 o T-3 existentes. Una carga T-1 puede fácilmente ser transportada en una tributaria VT1.5 y una carga T-3 puede fácilmente ser transportada en un SPE completa de una trama STS-1.
- Muchos cables de fibra óptica ya han sido instalados sin un protocolo común. Estos se pueden combinar en una red (o redes) que utilize el protocolo SONET. La mayoría de estos cables no están siendo utilizados a su capacidad completa debido a la falta de un protocolo.
- SONET puede utilizarse para transportar la RDSI y la RDSI-BA.
- SONET puede utilizarse para transportar celdas ATM (como se muestra en el texto).
- SONET puede soportar ancho de banda bajo demanda.
- SONET puede reemplazar a los cables de fibra óptica utilizados en las redes de TV por cable.
- SONET se puede utilizar como troncal o reemplazar totalmente a otros protocolos de red como SMDS o FDDI.

20.7. TÉRMINOS Y CONCEPTOS CLAVE

jerarquía digital síncrona (SDH)
módulo de transporte síncrono (STM)
multiplexor de inserción/extracción
nivel de camino
nivel de línea
nivel de sección
portadora óptica (OC)
red óptica síncrona (SONET)
regenerador
señal de transporte síncrona (STS)
sobrecarga de camino
sobrecarga de línea
sobrecarga de sección
tributaria virtual (VT)

20.8. RESUMEN

- La red óptica síncrona (SONET) es un estándar desarrollado por ANSI para las redes de fibra óptica.
- SONET ha definido una jerarquía de señales (similar a la jerarquía DS) denominada señales de transporte síncronas (STS).
- Los niveles de portadora óptica (OC) son la implementación de las STS.
- SONET define cuatro niveles. El nivel fotónico es el más bajo y realiza actividades del nivel físico.
- Los niveles de línea, de sección y de camino de SONET se corresponden con el nivel de enlace de datos del modelo OSI. Cada uno de estos niveles se encarga de transferir la señal a través de una porción específica del camino de transmisión.
- Un sistema SONET puede utilizar los siguientes equipos:
  a. Multiplexor STS –combina varias señales ópticas para construir una señal STS.
  b. Regenerador –elimina el ruido de una señal óptica.
  c. Multiplexor de inserción/extracción –añade señales STS de diferentes caminos y elimina las señales STS de un camino.
- Una trama en el nivel fotónico para STS-1 consta de 6.480 bits. Hay 8.000 tramas/segundo.
- La sobrecarga y los datos (carga) en una trama STS-1 se organizan en una configuración en matriz (nueve filas de 90 octetos).
- SONET es compatible hacia atrás con la jerarquía DS actual a través del concepto de tributarias virtuales (VT). Las VT son una carga parcial que consta de un bloque de m por n octetos. Una carga STS puede ser una combinación de varios VT.
- Las STS puede multiplexarse para obtener una nueva STS con una mayor tasa de datos.

20.9. MATERIAL PRÁCTICO

Preguntas de revisión

1. ¿En qué se diferencia un multiplexor STS de un multiplexor de inserción/extracción, puesto que ambas pueden añadir señales juntas?
2. ¿Qué relación existe entre los niveles STS y los niveles OC?
3. ¿Cuál es el objetivo del puntero en la sobrecarga de la línea?
4. Compare la jerarquía STS con la jerarquía DS.
5. Analice la configuración de SONET como una portadora física para ATM.
6. ¿Cuál es la relación que existe entre SONET y la jerarquía digital síncrona (SDH)?
7. ¿Por qué se llama a SONET red síncrona?
8. ¿Qué relación existe entre STS y STM?
9. ¿Cuál es la función de un regenerador SONET?
10. ¿Cuáles son los cuatro niveles de SONET?

11. Describa las funciones de cada nivel SONET.
12. ¿Qué tipo de codificación se utiliza en SONET?
13. Compare los niveles de SONET con los niveles del modelo OSI.
14. Describa la posición de la información de sobrecarga para cada nivel SONET.
15. ¿Cómo se organiza una trama STS-1?
16. ¿Qué es una tributaria virtual?
17. ¿Cómo transporta SONET datos desde un servicio DS-1?
18. ¿Cómo pueden varias STS de baja tasa de datos ser compatibles con STS con mayores tasas de datos?

Preguntas con respuesta múltiple

19. SONET es un estándar para redes _____.
    a. con cables de par trenzado
    b. con cables coaxial
    c. Ethernet
    d. con cables de fibra óptica
20. SONET es un acrónimo de red _____.
    a. óptica síncrona
    b. óptica estándar
    c. abierta simétrica
    d. abierta estándar
21. En un sistema SONET, _____ elimina el ruido de una señal y puede también añadir o eliminar cabeceras.
    a. un multiplexor STS
    b. un regenerador
    c. un multiplexor de inserción/extracción
    d. un repetidor
22. En un sistema SONET, _____ puede eliminar señales de un camino.
    a. un multiplexor STS
    b. un regenerador
    c. un multiplexor de inserción/extracción
    d. un repetidor
23. El enlace óptico entre dos dispositivos SONET cualquiera se denomina _____.
    a. una sección
    b. una línea
    c. un camino
    d. ninguna de las anteriores
24. El enlace óptico entre un multiplexor STS y un regenerador se denomina _____.
    a. una sección
    b. una línea
    c. un camino
    d. ninguna de las anteriores
25. El enlace óptico entre un multiplexor STS y un multiplexor de inserción/extracción se denomina _____.
    a. una sección
    b. una línea

    c. un camino
    d. ninguna de las anteriores
26. El nivel _____ de SONET se corresponde con el nivel físico del modelo OSI
    a. camino
    b. línea
    c. sección
    d. fotónico
27. El nivel _____ de SONET realiza la construcción de las tramas, la mezcla y el manejo de errores.
    a. camino
    b. línea
    c. sección
    d. fotónico
28. El nivel _____ de SONET transfiere una señal a través de una línea física.
    a. camino
    b. sección
    c. línea
    d. fotónico
29. El nivel _____ de SONET transfiere datos desde su fuente óptica a su destino óptico.
    a. camino
    b. sección
    c. línea
    d. fotónico
30. ¿Cuál de los siguientes niveles de SONET se corresponde con el nivel de enlace de datos de OSI?
    a. camino
    b. línea
    c. sección
    d. todos los anteriores
31. Un multiplexor STS opera en _____ niveles: _____.
    a. cuatro; camino, línea, sección y fotónico
    b. dos; sección y fotónico
    c. tres; línea, sección y fotónico
    d. dos; fotónico y camino
32. Un multiplexor de inserción/extracción opera en _____ niveles: _____.
    a. cuatro; camino, línea, sección y fotónico
    b. dos; sección y fotónico
    c. tres; línea, sección y fotónico
    d. dos; fotónico y camino
33. Un regenerador opera en _____ niveles: _____.
    a. cuatro; camino, línea, sección y fotónico
    b. dos; sección y fotónico
    c. tres, línea, sección y fotónico
    d. dos; fotónico y camino
34. En una trama STS-1, las primeras tres columnas contienen _____.
    a. sobrecarga de línea y de sección
    b. datos de usuario

c. sobrecarga del camino, de la línea y de la sección
d. sobrecarga del camino

35. La envolvente de carga síncrona (SPE) de una trama STS-1 contiene _____.
a. punteros
b. datos de usuario
c. sobrecarga del camino
d. b y c

36. Existe un byte de paridad para la _____ de una trama STS-1.
a. sobrecarga de sección
b. sobrecarga de línea
c. sobrecarga de camino
d. todas las anteriores

37. ¿Qué sobrecarga contiene los punteros a la carga?
a. sección
b. línea
c. camino
d. a y b

38. ¿Cuál es el número máximo de tributarias VT1.5 que puede entrar en una trama STS-1?
a. 3
b. 9
c. 28
d. 29

39. ¿Cuál es el número máximo de tributarias VT2 que puede entrar en una trama STS-1?
a. 4
b. 21
c. 22
d. 23

Ejercicios

40. Utilizando la Figura 20.14, demuestre que la tasa de datos de una STS-3 es de 155,520 Mbps.
41. Repita el Ejercicio 40 para STS-9, STS-12,..., STS-192. Véase en la Tabla 20.1 las tasas de datos.
42. Demuestre que la tasa de datos para la SPE en STS-1 es sólo de 50,112 Mbps (pista: reste los bits utilizados para la sobrecarga de la sección y de la línea).
43. Demuestre que la tasa de datos del usuario para STS-1 es sólo de 49,536 Mbps (pista: reste los bits utilizados para la sobrecarga de sección, línea y camino).
44. Repita el Ejercicio 42 para STS-3, STS-9,..., STS-192.
45. Repita el Ejercicio 43 para STS-3, STS-9,..., STS-192.
46. Muestre cómo una STS-9 se pueden multiplexar para crear una STS-36. ¿Hay alguna sobrecarga extra involucrada en este tipo de multiplexación? ¿Por qué sí o por qué no?
47. ¿Cuál es la duración de una trama STS-1?
48. ¿Cuál es la duración de las tramas STS-3, STS-9,..., STS-192?
49. ¿Cuántas VT1.5 pueden transportarse en una trama STS-1?
50. ¿Cuántas VT2 pueden transportarse en una trama STS-1?
51. ¿Cuántas VT3 pueden transportarse en una trama STS-1?

52. ¿Cuántas VT6 pueden transportarse en una trama STS-1?
53. Un usuario necesita enviar datos a 3 Mbps. ¿Qué VT (o combinación de VT) pueden utilizarse?
54. Un usuario necesita enviar datos a 7 Mbps. ¿Qué VT (o combinación de VT) pueden utilizarse?
55. Un usuario necesita enviar datos a 12 Mbps. ¿Qué VT (o combinación de VT) pueden utilizarse?
56. ¿Qué VT transmite casi la misma tasa de datos que la línea T-1?
57. ¿Qué VT o STS transmite casi la misma tasa de datos que la línea T-3?
58. Una compañía quiere utilizar SONET para multiplexar hasta 100 voces digitalizadas. ¿Qué VT (o combinación de VT) es adecuada para esta compañía?
59. Dibuje una red SONET utilizando los siguientes dispositivos. Etiquete todas las líneas, secciones y camino.
a. Tres multiplexores STS (dos como entrada y uno como salida).
b. Cuatro multiplexores de inserción/extracción.
c. Cinco regeneradores.

CAPÍTULO 21

Dispositivos de red y de interconexión de redes

Dos o más dispositivos conectados con el objetivo de compartir datos o recursos pueden formar una red. Montar una red es normalmente más complicado que enchufar simplemente un cable a un concentrador. Una red de área local (LAN) puede necesitar cubrir más distancia de la que el medio de transmisión admite. O el número de estaciones puede ser demasiado grande para que la entrega de las tramas o la gestión de red se haga de forma eficiente. En el primer caso, un dispositivo denominado repetidor o regenerador se inserta en la red para incrementar la distancia a cubrir. En el segundo, un dispositivo denominado puente se inserta para gestionar el tráfico.

Cuando dos o más redes diferentes se conectan para intercambiar datos o recursos, se convierten en una red interconectada (o internet). Enlazar varias LAN en una internet requiere **dispositivos de interconexión de redes** adicionales denominados encaminadores (*routers*) y pasarelas (*getaways*). Estos dispositivos están diseñados para solucionar los obstáculos a la interconexión sin interrumpir las funciones independientes de las redes.

> Una internet es una interconexión de redes individuales. Para crear una internet, se necesita dispositivos de interconexión de redes denominados encaminadores y pasarelas.

Nota: no confundir el término *internet* (con la i en minúscula) con *Internet* (con la I en mayúscula). La primera es un término genérico utilizado para hacer referencia a la interconexión de redes. La segunda es el término utilizado para especificar la red de ámbito mundial.

> Una internet es diferente a Internet.

Como se mencionó anteriormente, los dispositivos de interconexión de redes y de red se dividen en cuatro categorías: repetidores, puentes, encaminadores y pasarelas (véase la Figura 21.1).

Cada unos de estos cuatro tipos interactúa con protocolos en niveles diferentes del modelo OSI. Los repetidores actúan sólo sobre los componentes eléctricos de una señal y sólo son

Dispositivos de conexión
Dispositivos de red
Dispositivos de interconexión de redes
Repetidores
Puentes
Encaminadores
Pasarelas

Figura 21.1. *Dispositivos de conexión.*

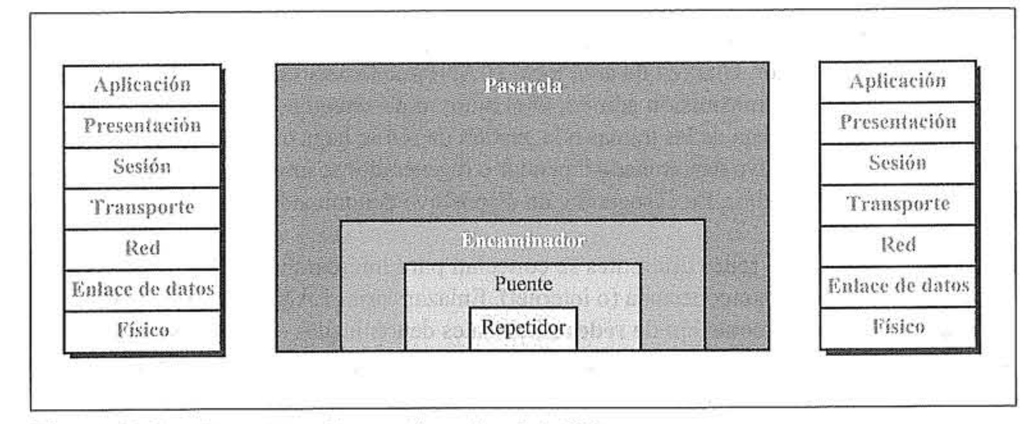


Figura 21.2. *Dispositivos de conexión y el modelo OSI.*

activos, por tanto, en el nivel físico. Los puentes utilizan protocolos de direccionamiento y pueden afectar al control de flujo de una única LAN; la mayoría son activos en el nivel de enlace de datos. Los encaminadores ofrecen enlaces entres dos LAN diferentes del mismo tipo y la mayoría son activos en el nivel de red. Finalmente, las pasarelas proporcionan servicios de traducción entre LAN o aplicaciones incompatibles y son activas en todos los niveles. Cada uno de estos dispositivos de interconexión de redes también opera en todos los niveles inferiores a aquel en el que son en mayor parte activos (véase la Figura 21.2).

21.1. REPETIDORES

Un **repetidor** (o regenerador) es un dispositivo electrónico que opera sólo en el nivel físico del modelo OSI (véase la Figura 21.3). Las señales que transportan información dentro de una red pueden viajar a una distancia fija antes de que la atenuación dañe la integridad de los datos. Un repetidor instalado en un enlace recibe la señal antes de que se vuelva demasiado débil o corrupta, regenera el patrón de bits original y coloca la copia refrescada de nuevo en el enlace.

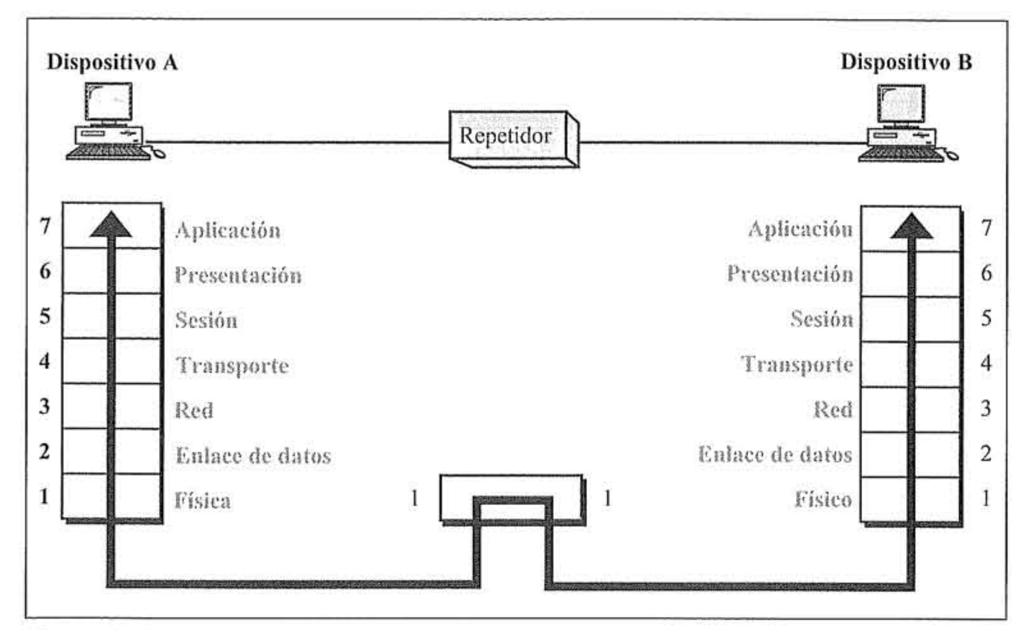


Figura 21.3. *Un repetidor en el modelo OSI.*

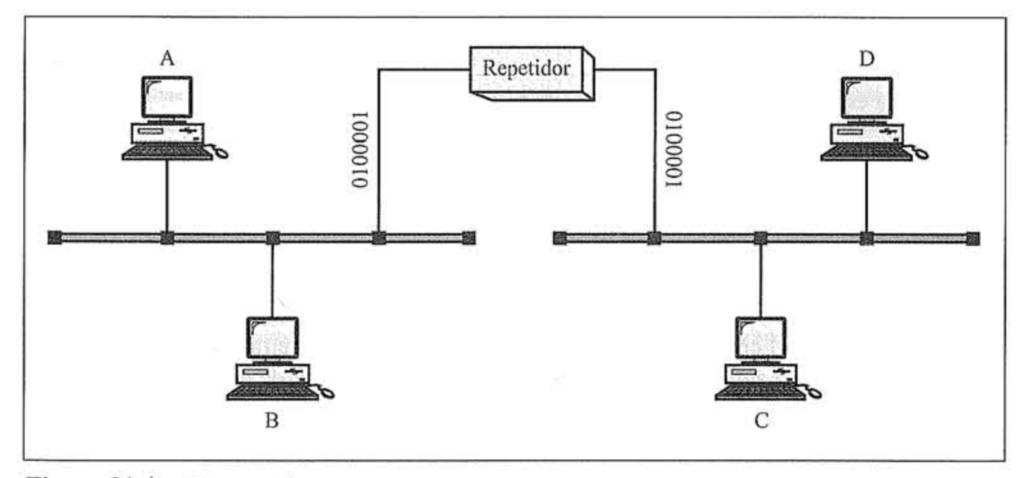


Figura 21.4. *Un repetidor.*

Un repetidor sólo nos permite extender la longitud física de una red. El repetidor no cambia de ninguna forma la funcionalidad de la red (véase la Figura 21.4). Las dos secciones conectadas por el repetidor de la Figura 21.4 son, en realidad, una red. Si la estación A envía una trama a la estación B, todas las estaciones (incluyendo la C y la D) recibirán la trama, de igual forma que si no hubiera un repetidor. El repetidor no tiene inteligencia para evitar que una trama pase al lado derecho cuando va encaminada a una estación situada a la izquierda. La diferencia es que, con un repetidor, las estaciones C y D reciben un copia más fiable de la trama.

Figura 21.5. *Función de un repetidor.*

No es un amplificador

Es tentador comparar un repetidor con un amplificador; sin embargo, un repetidor no es un amplificador. Un amplificador no puede discriminar entre una señal y ruido; amplifica todo por igual. Un repetidor no amplifica la señal; la regenera.

Cuando recibe una señal debilitada o corrupta, crea una copia bit a bit con la potencia original.

Un repetidor es un regenerador; no un amplificador.

La posición de un repetidor en un enlace es vital. Un repetidor debe estar situado de forma que una señal lo alcance antes de que cualquier posible ruido cambie el significado de sus bits. Un poco de ruido puede alterar la precisión del voltaje de un bit sin destruir su identidad (véase la Figura 21.5). Si los bits corruptos viajan mucho más allá, sin embargo, el ruido acumulado puede cambiar su significado completamente. En este punto, el voltaje original se hace irrecuperable y el error puede ser corregido sólo mediante la retransmisión. Un repetidor situado en la línea antes de que la legibilidad de la señal se pierda puede todavía leer la señal suficientemente bien para determinar los voltajes adecuados y replicarlos a su forma original.

21.2. PUENTES

Los **puentes** actúan en los niveles físico y de enlace de datos del modelo OSI (véase la Figura 21.6). Los puentes pueden dividir una red grande en segmentos más pequeños (véase la Figura 21.7). También pueden retransmitir tramas entre dos LAN originalmente separadas. Al contrario que los repetidores, los puentes contienen lógica que permite separar el tráfico de cada segmento. De esta forma, filtran el tráfico, algo que los hace útiles para controlar la congestión y aislar enlaces con problemas. Los puentes pueden también proporcionar seguridad mediante esta división del tráfico.

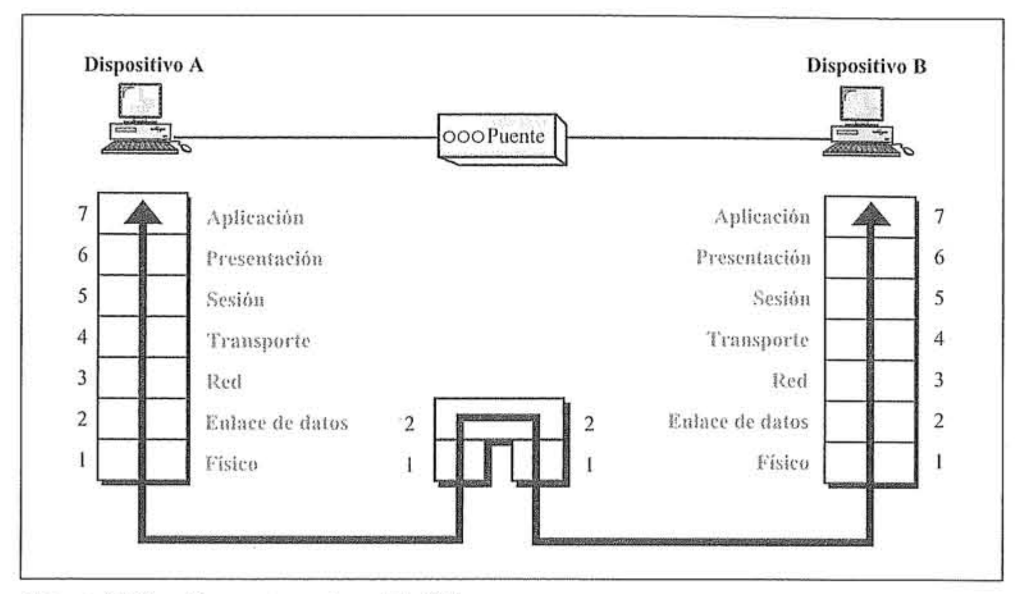


Figura 21.6. *Un puente en el modelo OSI.*

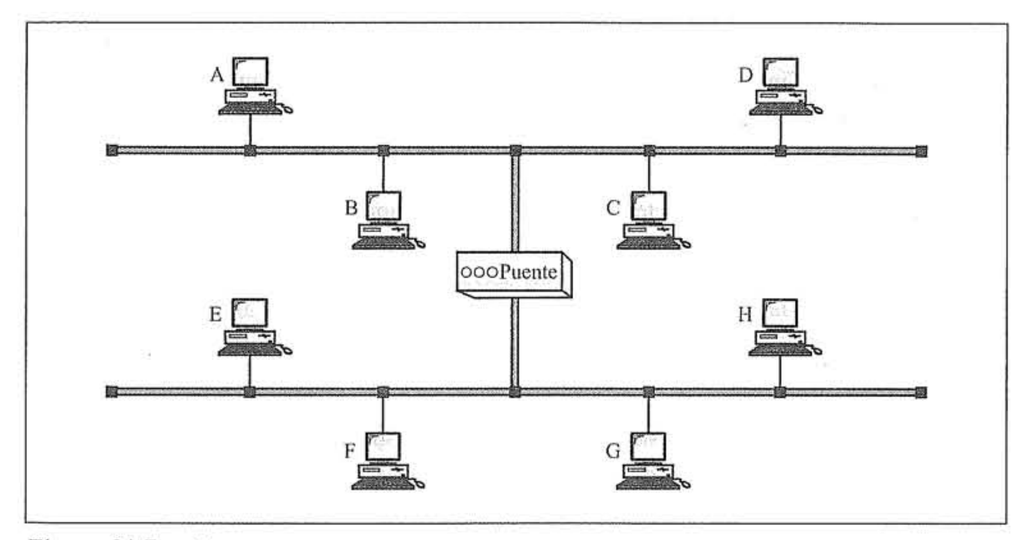


Figura 21.7. *Un puente.*

Un puente actúa en el nivel de enlace de datos, dándole acceso a las direcciones físicas de todas las estaciones conectadas a él. Cuando una trama entra en el puente, el puente no sólo regenera la señal sino que también comprueba la dirección del destino y encamina la nueva copia sólo al segmento en el que se encuentra la dirección destino. Cuando un puente encuentra un paquete, lee la dirección contenida en la trama y compara esa dirección con una tabla que almacena las direcciones de todas las estaciones en ambos segmentos. Cuando encuentra una correspondencia, busca el segmento al que pertenece la estación y retransmite el paquete sólo a ese segmento.

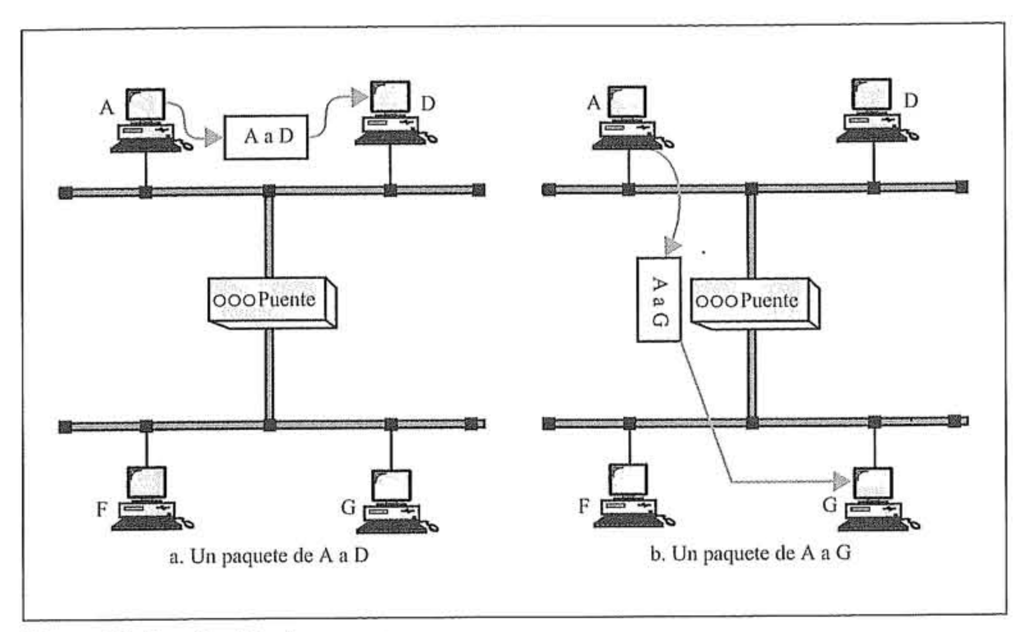


Figura 21.8. *Función de un puente.*

Por ejemplo, la Figura 21.8a muestra dos segmentos enlazados por un puente. Un paquete de la estación A dirigido a la estación D llega al puente. La estación A se encuentra en el mismo segmento que la estación D; por tanto, el paquete no cruza al segmento inferior. En su lugar, el paquete es retransmitido al segmento superior y recibido en la estación D.

En la Figura 21.8b, un paquete generado por la estación A se dirige a la estación G. El puente permite que el paquete cruce y se retransmita al segmento de red inferior, donde es recibido por la estación G.

Tipos de puentes

Para seleccionar entre segmentos, un puente debe buscar en una tabla que contenga las direcciones físicas de cada una de las estaciones conectadas a él. La tabla indica a qué segmento pertenece cada estación.

Puente simple

Los **puentes simples** son los más primitivos y menos caros. Un puente simple enlaza dos segmentos y contiene una tabla que almacena las direcciones de todas las estaciones incluidas en cada uno de ellos. Lo que lo hace primitivo es que todas las direcciones deben introducirse de forma manual. Antes de poder utilizar un puente simple, un operador debe introducir las direcciones de cada estación. Cuando se añade una nueva estación, se debe modificar la tabla. Si se elimina una estación, la dirección de esta estación (dirección inválida) debe ser eliminada. La lógica incluida en un puente simple, por tanto, es de la variedad pasa/no pasa, una configuración que hace que un puente simple sea fácil y barato de construir. La instalación y el mantenimiento de los puentes simples consumen bastante tiempo y potencialmente plantean más problemas que las ventajas que puede suponer el ahorro de coste.

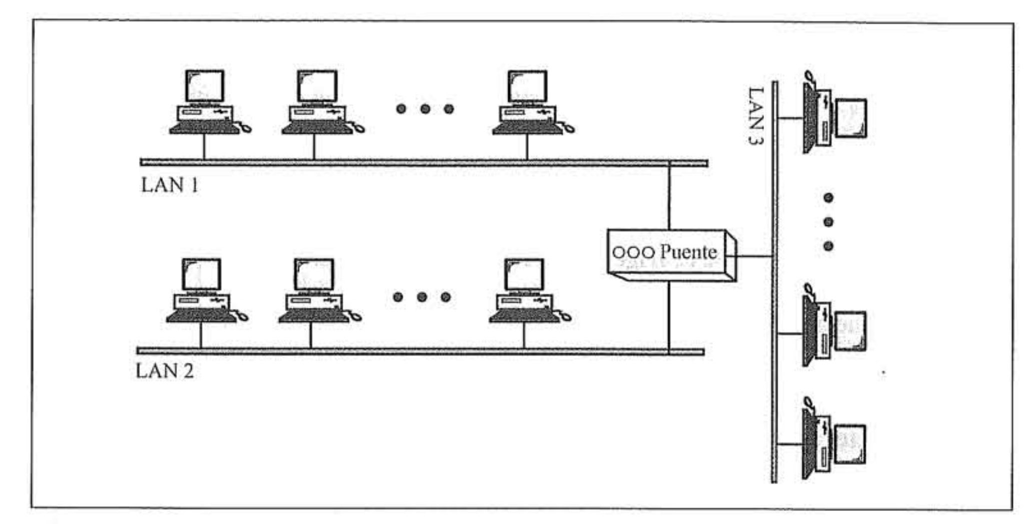


Figura 21.9. *Función transparente.*

Puentes multipuerto

Un **puente multipuerto** se puede utilizar para conectar más de dos LAN (Figura 21.9). En esta Figura, el puente tiene tres tablas, cada una de las cuales almacena las direcciones físicas de las estaciones alcanzables a través del puerto correspondiente.

Puente transparente

Un **puente transparente** o de aprendizaje construye la tabla con las direcciones de las estaciones a medida que realiza las funciones de un puente. Cuando se instala por primera vez un puente transparente, su tabla está vacía. Cuando encuentra un paquete, busca la dirección del origen y del destino. Comprueba el destino para decidir dónde enviar el paquete. Si no reconoce todavía la dirección de destino, retransmite el paquete a todas las estaciones en ambos segmentos. Utiliza la dirección fuente para construir su tabla. Cuando lee una dirección fuente, anota de qué lado viene el paquete y asocia esa dirección con el segmento al que pertenece. Por ejemplo, si el puente de la Figura 21.8 es un puente transparente, entonces cuando la estación A envía su paquete a la estación G, el puente aprende que el paquete que viene de A procede del segmento superior y que la estación debe estar localizada en ese segmento. Ahora, cuando el puente encuentre un paquete dirigido a A, sabe que tiene que retransmitirlo al segmento superior.

Con el primer paquete transmitido por cada estación, el puente conoce el segmento asociado con cada estación. En algún momento, tendrá la tabla completa con las direcciones de las estaciones y sus segmentos respectivos y almacenada en su memoria.

Al continuar este proceso incluso después de que la tabla esté completa, un puente transparente también se autoactualiza. Suponga que una persona de la estación A cambia su oficina con la persona de la estación G, así como sus computadoras (incluyendo sus NIC). En este caso, las posiciones de los segmentos almacenadas para estas estaciones serán erróneas. Pero debido a que el puente está constantemente comprobando las direcciones origen de los paquetes recibidos, notará que los paquetes que vienen de la estación A ahora proceden del segmento inferior y que los paquetes que vienen de la estación G proceden del segmento superior. En estos casos, el puente actualiza su tabla con la nueva información.

Algoritmo del árbol de expansión Los puentes normalmente se instalan de forma redundante, lo que significa que dos LAN pueden estar conectadas por más de un puente. En este caso, si los puentes son puentes transparentes, pueden crear un bucle, lo que significa que un paquete puede ir y volver de una LAN a otra y de ésta de nuevo a la primera LAN. Para evitar esta situación, los puentes actuales utilizan lo que se denomina el **algoritmo del árbol de expansión.** En el Apéndice I se realiza una descripción de esta situación y del algoritmo del árbol de expansión.

Encaminamiento desde el origen Otra solución para evitar los bucles en LAN conectadas por puentes es el **encaminamiento desde el origen.** En este método, el origen del paquete define los puentes y las LAN a través de las cuales debe pasar el paquete antes de alcanzar el destino.

Puentes conectados a LAN diferentes

Normalmente, un puente debería ser capaz de conectar LAN que utilizan protocolos diferentes en el nivel de enlace de datos, como una LAN Ethernet a una LAN en anillo con paso de testigo. Sin embargo, hay muchos problemas a considerar, algunos de los cuales se mencionan a continuación:

- **Formato de la trama.** Las tramas enviadas por LAN diferentes tienen formatos diferentes (compare una trama Ethernet con una trama de una red en anillo con paso de testigo).
- **Tamaño de la carga.** El tamaño de los datos que pueden encapsularse en una trama varía de un protocolo a otro (compare el tamaño de la máxima carga de una trama Ethernet con el de una trama de una red en anillo con paso de testigo).
- **Tasa de datos.** Protocolos diferentes utilizan tasas de datos diferentes (compare los 10 Mbps de una Ethernet con los 16 Mbps de una red en anillo con paso de testigo); el puente debería almacenar la trama para compensar esta diferencia.
- **Orden de los bits de la dirección.** El orden de los bits de las direcciones en LAN con protocolos diferentes no es el mismo; por ejemplo, un puente debería invertir una dirección si conecta una LAN Ethernet a una LAN en anillo con paso de testigo.
- **Otros problemas.** Hay otros problemas que deberían resolverse, como las confirmaciones, las colisiones y la prioridad, que pueden formar parte de un protocolo de una LAN pero no de la otra.

Sin embargo, hoy en día hay puentes que pueden manejar todos estos problemas y pueden conectar cualquier tipo de LAN a cualquier otra.

21.3. ENCAMINADORES

Los repetidores y puentes son sencillos dispositivos *hardware* capaces de ejecutar tareas específicas. Los **encaminadores** son más sofisticados. Tienen acceso a las direcciones del nivel de red y contienen *software* que permite determinar cuál de los posibles caminos entre esas direcciones es el mejor para una transmisión determinada. Los encaminadores actúan en los niveles físico, de enlace de datos y de red del modelo OSI (véase la Figura 21.10).

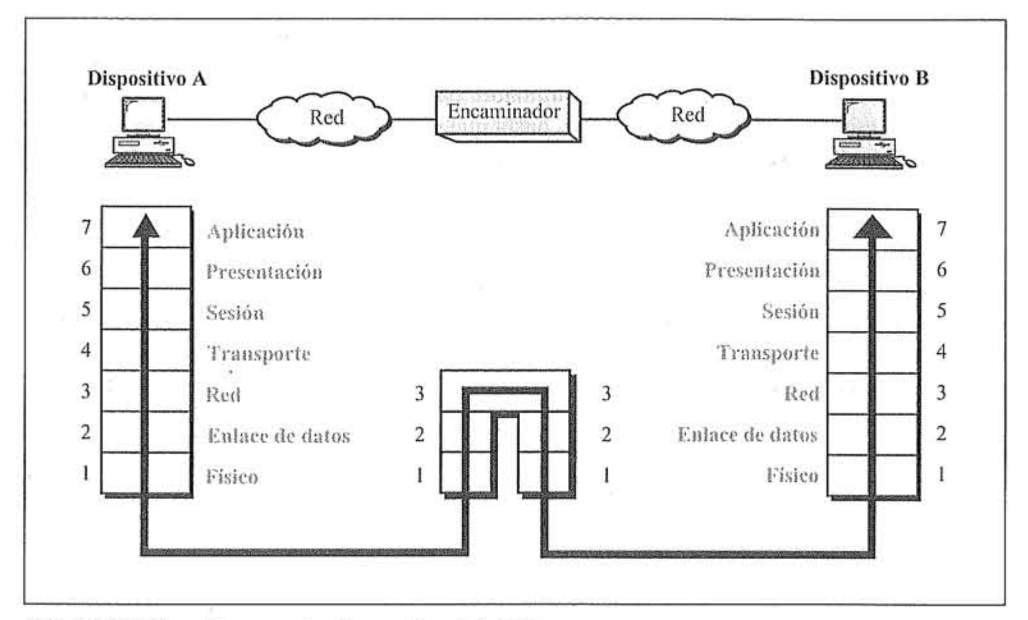


Figura 21.10. *Un encaminador en el modelo OSI.*

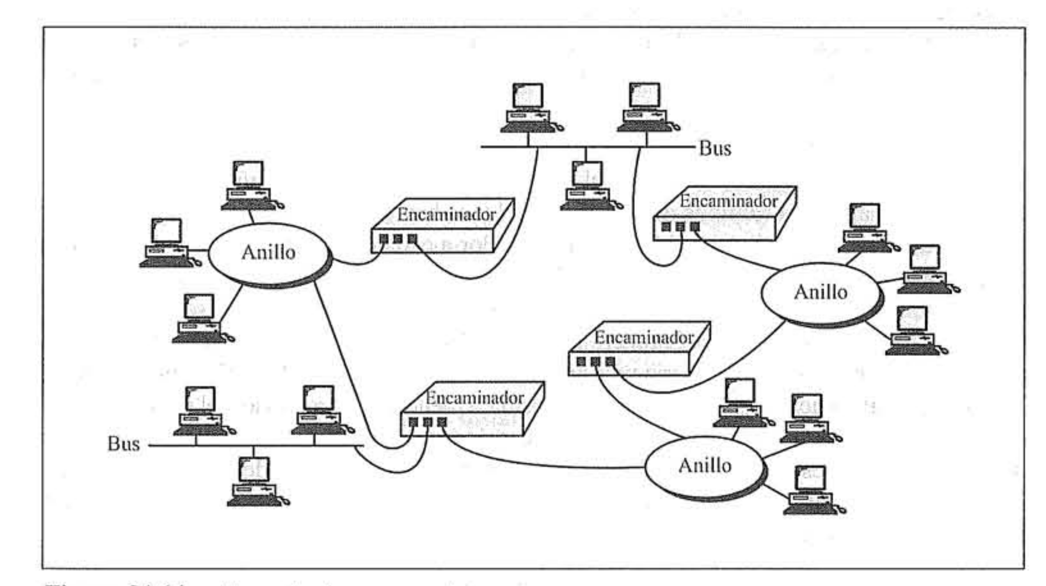


Figura 21.11. *Encaminadores en una internet.*

Los encaminadores retransmiten los paquetes entre múltiples redes interconectadas. Encaminan paquetes de una red a cualquiera de las posibles redes de destino o a una internet. La Figura 21.11 muestra una posible internet formada por cinco redes interconectadas. Un paquete enviado desde una estación de una red a una estación de la red vecina se encamina en primer lugar al encaminador que las une, que se encarga de conmutarlo a la red destino. Si no

hay ningún encaminador conectado entre la estación emisora y la receptora, el encaminador que envía transfiere el paquete a una de sus redes conectadas hasta el siguiente encaminador situado en la dirección del destino. El encaminador encamina el paquete al siguiente encaminador del camino, y así de forma sucesiva, hasta que se alcanza el destino.

Los encaminadores actúan como estaciones en una red. Pero al contrario que la mayoría de las estaciones, que son miembros de una sola red, los encaminadores tienen direcciones y enlaces a dos o más redes al mismo tiempo. En su función más simple, los encaminadores reciben paquete de una red y la pasan a una segunda red conectada. Sin embargo, si un paquete recibido se dirige a un nodo de una red de la cual el encaminador no es miembro, el encaminador es capaz de determinar cuál de las redes a las que está conectado es la mejor para retransmitir el paquete. Una vez que un encaminador ha identificado la mejor ruta para el paquete, lo pasa a otro encaminador de la red apropiada. El encaminador comprueba la dirección destino, busca la que considera mejor ruta para el paquete y lo pasa a la dirección destino (si esa red es una red vecina) o a través de una red vecina al siguiente encaminador situado en el camino elegido.

Conceptos de encaminamiento

Como se ha mostrado, el trabajo de los encaminadores es encaminar los paquetes a través de un conjunto de redes. Imagine, por ejemplo, que se quiere mover un paquete desde la red A a la red C a través del encaminador (red) B. Normalmente, existe más de un camino entre el punto de origen y el punto de destino. Por ejemplo, el paquete podría alcanzar la red C a través del encaminador D en lugar de hacerlo a través del encaminador B, o posiblemente, incluso, directamente desde A a C. Cuando hay varias opciones, el encaminador elige el camino.

Encaminamiento con coste mínimo

Pero, ¿qué camino elegir? La decisión del **encaminamiento con coste mínimo** se basa en la eficiencia: ¿cuál de los caminos disponibles es el más barato o, en terminología de interconexión de redes, es el más corto? Se asigna un valor a cada enlace; la longitud de una ruta concreta es igual al total de valores de los enlaces componentes. El término *más corto*, en este contexto, puede significar dos cosas dependiendo del protocolo. En algunos casos, el más corto significa la ruta que requiere el número más pequeño de retransmisiones o saltos; por ejemplo, un enlace directo de A a D sería una ruta más corta que la ruta A-B-C-D, incluso aunque la distancia real cubierta por la última sea la misma o menor. En otros casos, el más corto significa el más rápido, más económico, más fiable, más seguro o la mejor de cualquier otra cualidad que se puede establecer sobre un enlace concreto (o combinación de enlaces) y que sea más atractiva que otra. Normalmente el más corto suele hacer referencia a una combinación de todos los anteriores.

> En encaminamiento, el término *más corto* puede hacer referencia a una combinación de muchos factores incluyendo el trayecto más corto, más económico, más rápido, más fiables y otros.

Cuando más corto significa el camino que requiere el número más pequeño de retransmisiones, se denomina encaminamiento basado en **contador de saltos,** en el que cada enlace se considera de igual longitud y valor. Valores iguales para los enlaces hacen que el encaminamiento basado en contador de saltos sea muy sencillo: un salto en una ruta siempre es igual a uno, dos saltos son siempre igual a dos y así sucesivamente. Las rutas necesitan actualizarse solo cuando un enlace deje de estar disponible. En este caso, el valor de enlace se hace infinito y se encuentra un alternativo. Los algoritmos basados en contador de saltos normalmente limitan las rutas conocidas por un encaminador a valores menores de 15 saltos. Para transmisiones con requisitos especiales (es decir, transmisiones militares que requieren líneas altamente seguras), se puede diseñar un algoritmo de contador de saltos concreto. En tales casos, algunos enlaces tendrán asignados un valor de uno, mientras que otros enlaces tendrán valores más altos y serán evitados. Los protocolos Novell, AppleTalk, OSI y TCP/IP utilizan el concepto del contador de saltos como base para sus algoritmos de encaminamiento.

Otros protocolos tienen en cuenta varias cualidades relevantes al funcionamiento de un enlace antes de asignarle un valor. Estas cualidades pueden incluir la velocidad, la congestión del tráfico y el medio del enlace (línea telefónica, transmisión vía satélite, etc.). Cuanto se combinan todos los factores relevantes para un enlace, se necesita un número que represente el valor o la longitud del enlace. Este número representa una valoración de la eficiencia, no la distancia física; por ello, se denomina longitud simbólica del enlace.

> Se pueden combinar todos los factores que afectan a un enlace en un número y llamar a ese número longitud simbólica del enlace.

En algunos protocolos, cada enlace en una red tiene asignada una longitud basada en cualquiera de las cualidades que se consideran importantes para esa red. Si el enlace entre dos encaminadores es semidúplex o full-dúplex (tiene tráfico en los dos sentidos), la longitud del enlace en una dirección podría ser diferente de la longitud del enlace en la otra dirección. La distancia física que la señal tiene que atravesar no cambia, pero otros factores, como la carga de tráfico o la calidad del cable pueden ser diferentes. Con un encaminamiento basado en contador de saltos, la decisión de qué ruta es la mejor se basa en la distancia más corta, contabilizando la totalidad de las longitudes de cada enlace utilizado en el camino. En un encaminamiento basado en un contador de saltos, todos los caminos de tres saltos tienen una longitud de tres y se consideran más largos que los caminos de dos saltos. Cuando a los enlaces se les asignan longitudes diferentes, sin embargo, la longitud total de un enlace de tres saltos puede hacerse más corta que la de un enlace que requiere dos saltos.

Encaminamiento estático frente al dinámico

El encaminamiento se puede clasificar en dinámico o adaptable y estático.

Encaminamiento estático En algunos protocolos, una vez elegido el camino hacia el destino, el encaminador envía todos los paquetes para ese destino por la misma ruta. En otras palabras, las decisiones de encaminamiento no se basan en la condición o topología de las redes.

Encaminamiento dinámico Otros protocolos de encaminamiento emplean una técnica denominada encaminamiento dinámico, en la que el encaminador selecciona una nueva ruta para cada paquete (incluso para paquetes que pertenecen a la misma transmisión) en respuesta a los cambios en las condiciones o topología de las redes. Dada una transmisión desde la red A a la red D, un encaminador puede enviar el primer paquete a través de la red B, el segundo a través de la red C y el tercero a través de la red Q, dependiendo de qué ruta sea la más eficiente en cada momento.

Tiempo de vida de un paquete

Una vez que el encaminador ha elegido un camino, pasa el paquete al siguiente encaminador situado en el camino y se olvida de él. El siguiente encaminador, sin embargo, puede elegir el mismo camino o puede decidir que existe un camino diferente más corto y retransmitir el paquete al siguiente encaminador en esa dirección. Esta separación de la responsabilidad permite a cada encaminador contener la mínima lógica necesaria, haciendo que la cantidad de información de control que debe contener una trama sea la mínima y permite que el ajuste de la ruta se base en las apreciaciones de última hora de cada enlace. También crea la posibilidad de que un paquete entre en un bucle o entre en una situación en la que el paquete se pasa de encaminador a encaminador sin que nunca alcance el destino.

Los bucles o las situaciones en las que un paquete pasa de un encaminador a encaminador sin alcanzar el destino pueden ocurrir cuando el encaminador actualiza su tabla de encaminamiento y retransmite un paquete de acuerdo a los nuevos caminos antes de que el encaminador que recibe haya actualizado su propio vector. Por ejemplo, A cree que la ruta más corta a C es a través de B y retransmite el paquete de acuerdo a esta apreciación. Antes de que B reciba el paquete, éste se da cuenta de que su enlace a C ha sido desactivado. B actualiza su vector y determina que la ruta más corta actual hacia C se realiza a través de A. El paquete es enviado de nuevo a A. A no ha recibido todavía la información sobre el enlace B-C y cree que la mejor ruta hacia C es a través de B. El paquete es retransmitido de nuevo a B, éste lo devuelve a A de nuevo y así sucesivamente. Los problemas de este tipo son más probables en sistemas que utilizan algoritmos basados en un vector distancia que en aquellos que utilizan algoritmos basados en el estado del enlace. (Los primeros envían paquetes de actualización más frecuentemente que los últimos; véase la Sección 2.16 sobre «Algoritmos de encaminamiento».)

El problema creado por los bucles o los rebotes no es principalmente que los paquetes se pierdan; las funciones del nivel de enlace de datos del emisor y del receptor de la transmisión informarán de la pérdida de tramas y las reemplazarán con nuevas copias. El problema es que el procesamiento eterno de los paquetes que entran en un bucle utiliza recursos de red e incrementa la congestión. Los paquetes que entran en un bucle deben ser identificados y destruidos para liberar los enlaces y dejarlos para tráfico legítimo.

La solución se basa en añadir un campo denominado **tiempo de vida del paquete (TTL)**. Cuando se genera un paquete se marca con un tiempo de vida, normalmente el número de saltos que se permiten antes de que un paquete se considere como perdido. Cada encaminador, cuando recibe un paquete, resta 1 al tiempo de vida antes de pasarlo. Cuando el tiempo de vida llega a 0, el paquete es destruido.

21.4. PASARELAS

Las **pasarelas** potencialmente actúan en todos los siete niveles del modelo OSI (véase la Figura 21.12). Una pasarela es un **convertidor de protocolos.** Un encaminador transfiere, acepta o retransmite paquetes solo entre redes que utilizan protocolos similares. Una pasarela, por otro lado, puede aceptar un paquete formateado para un protocolo (por ejemplo, AppleTalk) y convertirlo a un paquete formateado para otro protocolo (por ejemplo, TCP/IP) antes de encaminarlo.

Una pasarela es generalmente *software* instalado dentro de un encaminador. La pasarela comprende los protocolos utilizados por cada red enlazada al encaminador y es, por tanto,

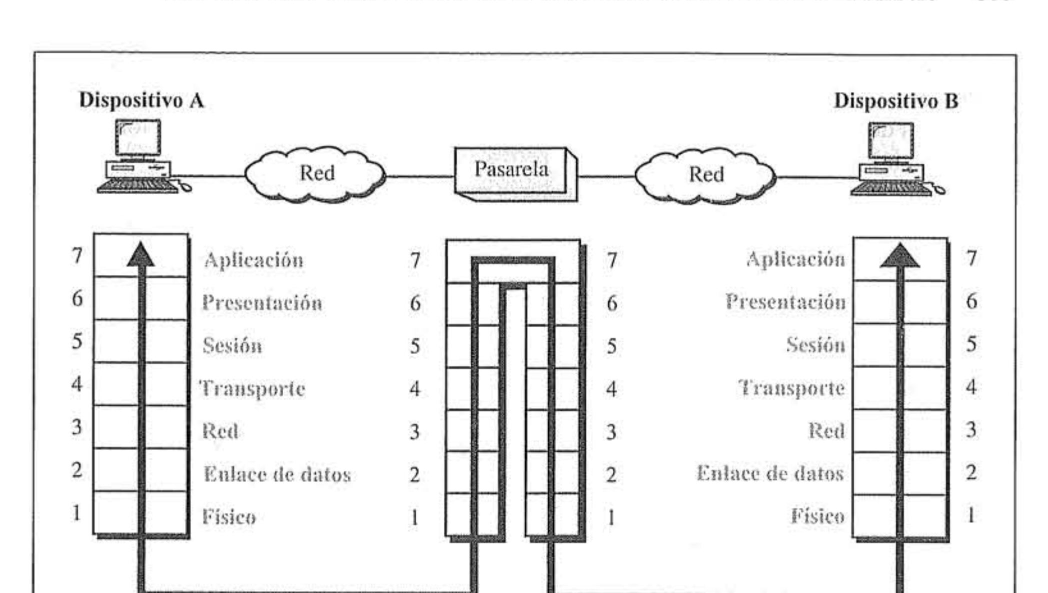


Figura 21.12. *Una pasarela en el modelo OSI.*

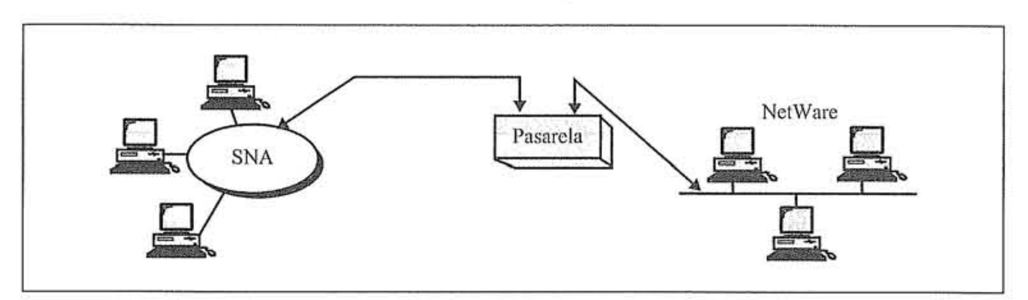


Figura 21.13. *Una pasarela.*

capaz de traducirlo de uno a otro. En algunos casos, las únicas modificaciones necesarias se realizan sobre la cabecera y la cola del paquete. En otros casos, la pasarela debe ajustar también la tasa de datos, el tamaño y el formato. La Figura 21.13 muestra una pasarela que conecta una red SNA (IBM) a un red NetWare (Novell).

21.5. OTROS DISPOSITIVOS

En esta sección, se definen brevemente otros dispositivos utilizados para conectar redes.

Encaminadores multiprotocolo

En el nivel de red, un encaminador por defecto es un dispositivo de un único protocolo. En otras palabras, si se conectan dos LAN a través de un encaminador, ellas deberían utilizar el

mismo protocolo en el nivel de red. Por ejemplo, ambas deberían utilizar IP (el protocolo del nivel de red utilizado en Internet) o IPX (el protocolo de nivel de red de Novell). La razón que hay detrás de esto es que la tabla de encaminamiento debería utilizar un único formato de direccionamiento.

Sin embargo, se han diseñado **encaminadores multiprotocolo,** que encaminan paquetes que pertenecen a dos o más protocolos. Por ejemplo, un encaminador de dos protocolos (por ejemplo, IP e IPX) puede manejar paquetes que pertenecen a los dos protocolos. Puede recibir, procesar y enviar un paquete utilizando el protocolo IP o puede recibir, procesar y enviar un paquete que utiliza el protocolo IPX. En este caso, el encaminador tiene dos tablas de encaminamiento: una para IP y otra para IPX. Por supuesto, el encaminador no puede encaminar un paquete utilizado por otros protocolos. La Figura 21.14 muestra la idea de encaminador multiprotocolo.

Puentes/encaminadores

Un **puente/encaminador** (*brouter*) es un encaminador de un único protocolo o multiprotocolo que en algunas ocasiones actúa como un puente.

Cuando el puente/encaminador de un único protocolo recibe un paquete que pertenece al protocolo para el que está diseñado, encamina el paquete utilizando direcciones del nivel de red; en caso contrario actúa como un puente y pasa el paquete utilizando direcciones del nivel de enlace.

Cuando un puente/encaminador multiprotocolo recibe un paquete que pertenece a uno de los protocolos para los que está diseñado, encamina el paquete utilizando direcciones del nivel

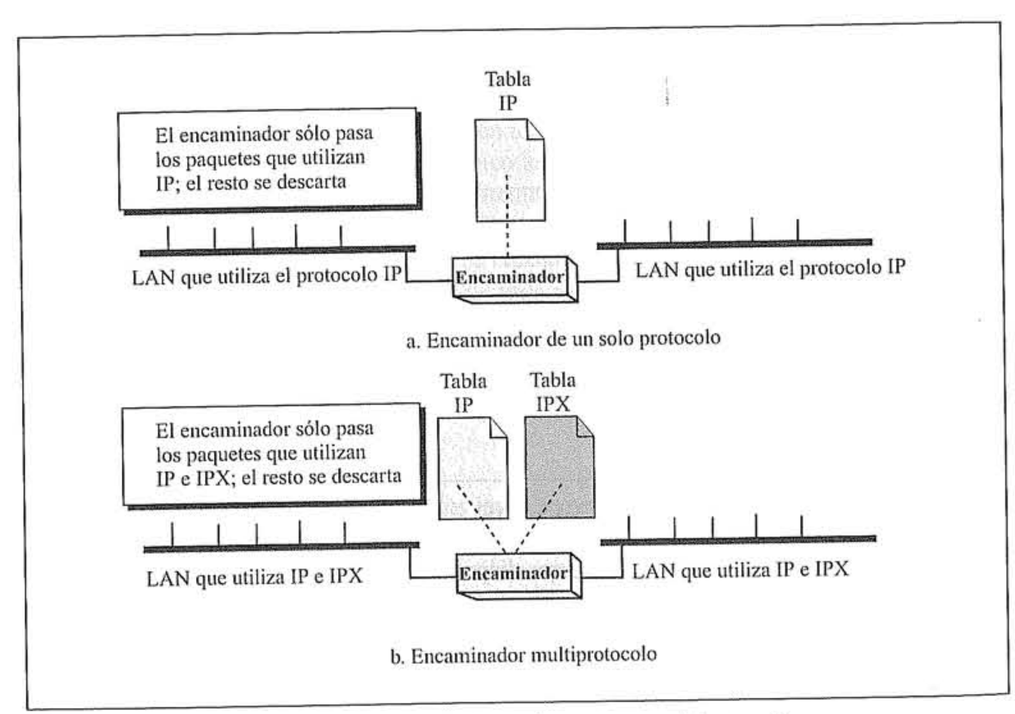


Figura 21.14. *Encaminador de protocolo único frente a uno multiprotocolo.*

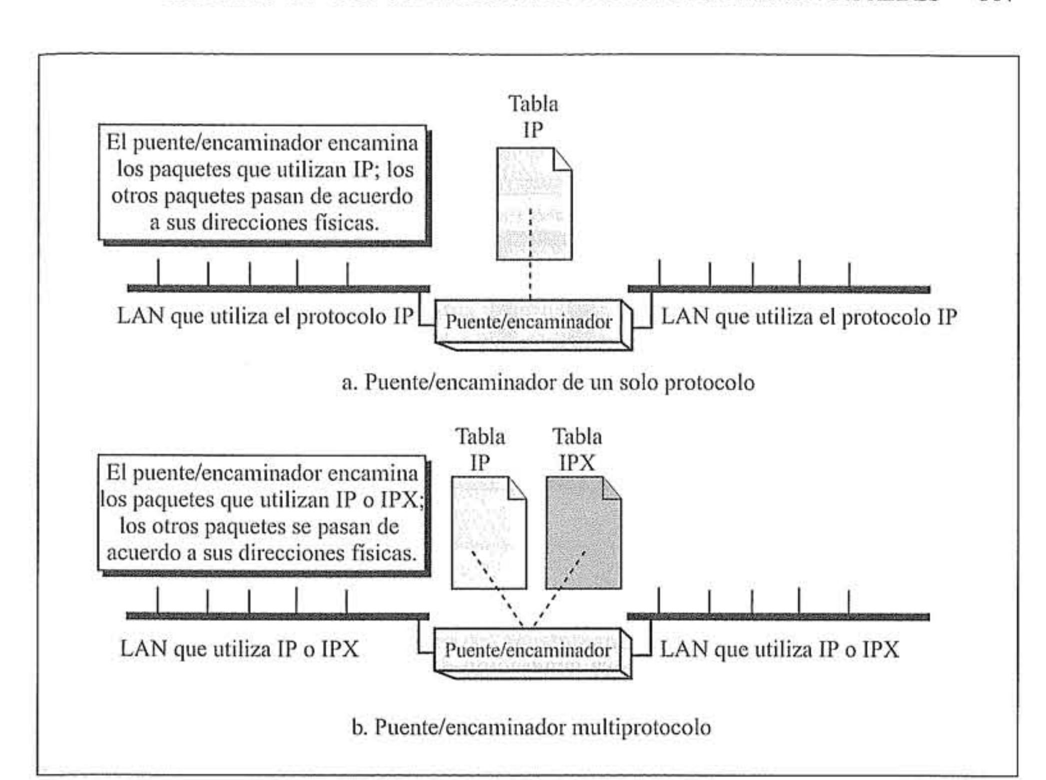


Figura 21.15. *Puente/encaminador.*

de red; en caso contrario, actúa como un puente y pasa el paquete utilizando direcciones del nivel de enlace de datos. La Figura 21.15 muestra el concepto de un puente/encaminador.

Conmutadores

Tradicionalmente, un conmutador es un dispositivo que ofrece la funcionalidad de un puente con una mayor eficiencia. Como se vio en la sección anterior, un conmutador puede actuar como un puente multipuerto para conectar dispositivos o segmentos a una LAN. El conmutador normalmente tiene un *buffer* para cada enlace (red) a la cual se conecta. Cuando recibe un paquete, almacena el paquete en el buffer correspondiente al enlace de recepción y comprueba la dirección (y algunas veces el CRC) para encontrar el enlace de salida. Si el enlace de salida se encuentra libre (no hay posibilidad de colisión), el conmutador envía la trama por el enlace determinado.

Los conmutadores están basados en dos estrategias diferentes: *almacenamiento y reenvío* y de *reenvío directo*. Un **conmutador de almacenamiento y reenvío** almacena la trama en el buffer de entrada hasta que el paquete completo ha sido recibido. Un **conmutador de reenvío directo,** por otro lado, encamina el paquete hacia el buffer de salida tan pronto se recibe la dirección de destino. La Figura 21.16 muestra el concepto de un conmutador. Una trama llega al puerto 2 y se almacena en el buffer. La CPU y la unidad de control, utilizando la información de la trama, consulta la tabla de conmutación para encontrar el puerto de salida. La trama es enviada, a continuación, para su transmisión por el puerto 5.

Figura 21.16. *Conmutador.*

Conmutadores de encaminamiento

Recientemente ha aparecido una nueva generación de conmutadores que son una combinación de un encaminador y un puente. Estos **conmutadores de encaminamiento** utilizan la dirección de destino del nivel de red para encontrar el enlace de salida por el cual debería encaminarse el paquete. El proceso es más rápido debido a que el software de nivel de red en un encaminador convencional busca sólo la dirección de red de la siguiente estación y luego pasa esta información al *software* del nivel de enlace de datos para buscar el enlace de salida.

21.6. ALGORITMOS DE ENCAMINAMIENTO

Como se explicó anteriormente, en el encaminamiento el camino con el coste más bajo es el que se considera mejor. Siempre que se conozca el coste de cada enlace, un encaminador puede encontrar la combinación óptima para cualquier transmisión. Existen varios **algoritmos de encaminamiento** para realizar estos cálculos. El más popular es el encaminamiento basado en el vector distancia y el encaminamiento basado en el estado del enlace.

> Se utilizan dos métodos comunes para calcular el camino más corto entre dos encaminadores: el encaminamiento basado en el vector distancia y el encaminamiento basado en el estado del enlace.

21.7. ENCAMINAMIENTO BASADO EN EL VECTOR DISTANCIA

En el **encaminamiento basado en el vector distancia,** cada encaminador periódicamente comparte su conocimiento sobre la red entera con sus vecinos. Hay tres claves para comprender el funcionamiento de este algoritmo:

1. **Conocimiento de toda la red.** Cada encaminador comparte su conocimiento sobre la red entera. Envía todo el conocimiento que tiene sobre la red a sus vecinos. Al comienzo, el conocimiento que tiene un encaminador de la red puede ser muy escaso. Cuánto conoce, sin embargo, no es importante: el encaminador envía lo que tenga.
2. **Encaminamiento sólo a los vecinos.** Cada encaminador envía periódicamente su conocimiento sobre la red sólo a los encaminadores con los que tiene enlaces directos. Envía el conocimiento que tenga sobre la red completa a través de todos sus puertos. Esta información es recibida y almacenada en cada encaminador vecino, y utilizada para actualizar la propia información que tiene el encaminador sobre la red.
3. **Se comparte información a intervalos regulares.** Por ejemplo, cada 30 segundos, cada encaminador envía su información sobre la red completa a sus vecinos. Este envío ocurre haya cambiado o no la red desde el último intercambio de información.

> En el encaminamiento basado en el vector distancia, cada encaminador comparte su conocimiento sobre la red entera con sus vecinos.

Compartir información

Para comprender el funcionamiento del encaminamiento basado en vector distancia, se va a examinar la internet mostrada en la Figura 21.17. En este ejemplo, las nubes representan redes de área local (LAN). El número situado dentro de cada nube representa el identificador de la red de área local. Estas LAN pueden ser de cualquier tipo (Ethernet, de anillo con paso de testigo, FDDI, etc.). Las LAN se conectan entre sí mediante encaminadores (o pasarelas), representadas por las cajas etiquetadas como A, B, C, D, E y F.

El encaminamiento basado en vector distancia simplifica el proceso de encaminamiento asumiendo un coste de una unidad para cada enlace. De esta forma, la eficiencia de la transmisión es una función sólo del número de enlaces requeridos para alcanzar el destino. En el encaminamiento basado en vector distancia, el coste se basa en contar los saltos.

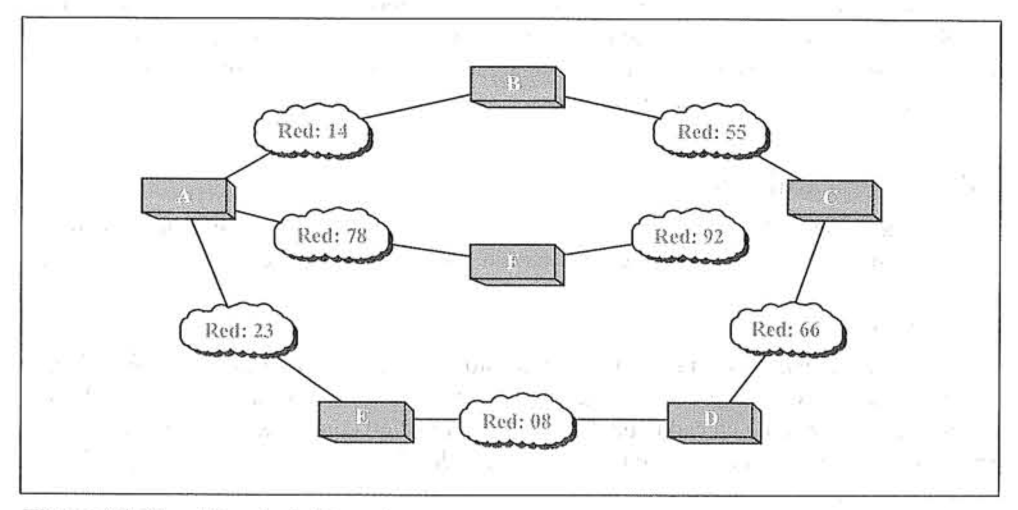


Figura 21.17. *Ejemplo de Internet.*

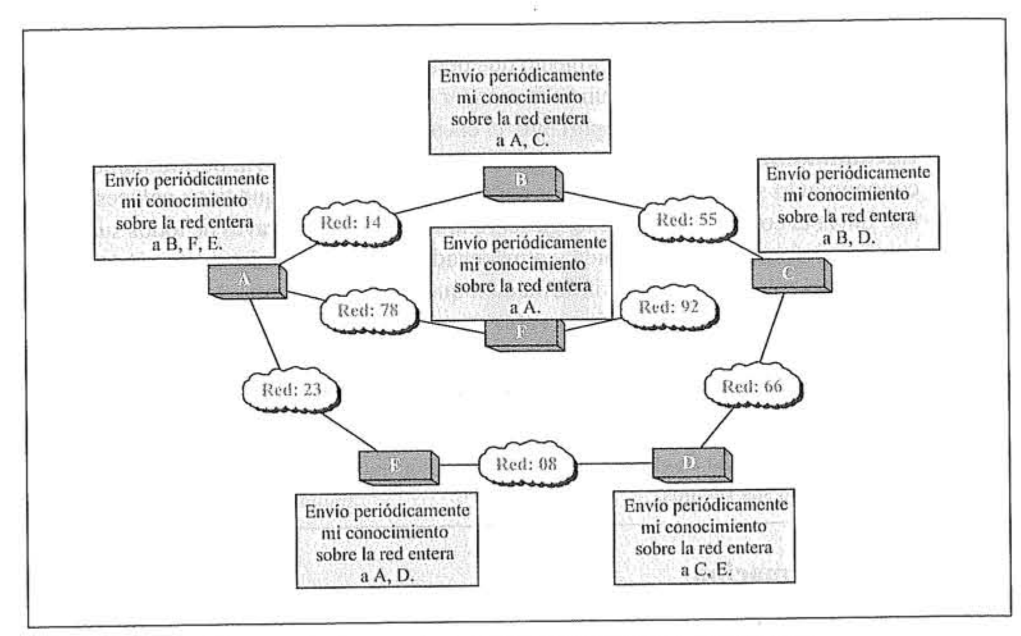


Figura 21.18. *El concepto de encaminamiento basado en vector de distancia.*

La Figura 21.18 muestra la primera etapa del algoritmo. Las cajas de texto indican las relaciones entre los encaminadores de la Figura 21.17 con sus vecinos. Como se puede observar, cada encaminador envía su información sobre la red sólo a sus vecinos inmediatos. ¿Cómo entonces hacen los encaminadores que no son vecinos para aprender del resto y compartir el conocimiento?

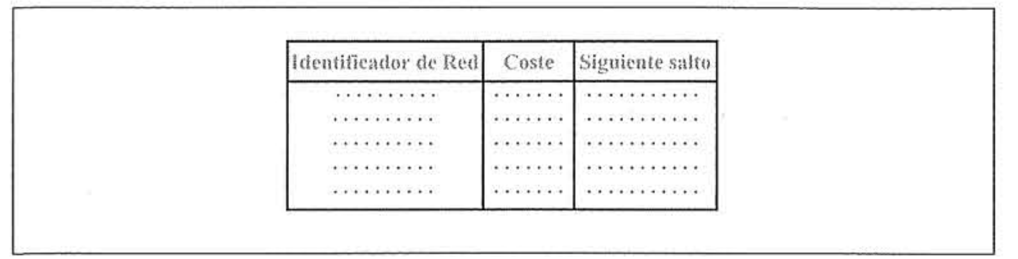
Un encaminador envía su conocimiento a sus vecinos. Los vecinos añaden su conocimiento a su propio conocimiento y envían la tabla completa a sus propios vecinos. De esta forma, el primer encaminador obtiene su propia información devuelta más nueva información sobre los vecinos de sus vecinos. Cada uno de estos vecinos añade su conocimiento y envía la tabla actualizada a sus propios vecinos (a los vecinos de los vecinos de los vecinos del encaminador original), y así de forma sucesiva. En algún momento, cada encaminador conoce todo acerca de los encaminadores de la red entera.

Tablas de encaminamiento

A continuación se va a examinar la forma en la que cada encaminador obtiene su conocimiento inicial sobre la red y cómo utiliza la información compartida para actualizar su conocimiento.

Creación de la tabla

Cuando un encaminador se inicia, su conocimiento sobre la red entera es escaso. Todo lo que sabe es que se encuentra conectado a algún número de LAN (dos o más). Debido a que el encaminador es una estación en cada una de esas LAN, también conoce el identificador de cada estación. En la mayoría de los sistemas, el identificador de puerto de una estación y el identificador de red comparten el mismo prefijo. De esta forma, un encaminador puede descubrir a qué redes está conectado sin más que examinar su propia dirección lógica (recuerde que un



Identificador de Red	Coste	Siguiente salto
....	....	....
....	....	....
....	....	....
....	....	....

Figura 21.19. *Tabla de encaminamiento basada en vector de distancias.*

encaminador tienen tantas direcciones lógicas como puertos conectados). Esta información es suficiente para construir su **tabla de encaminamiento** inicial (véase la Figura 21.19).

Una tabla de encaminamiento tiene columnas para almacenar al menos tres tipos de información (algunos protocolos requieren más): el identificador de la red, el coste y el identificador del siguiente encaminador (siguiente salto). El identificador de la red es el destino final del paquete. El coste es el número de saltos que el paquete debe dar para llegar a esa red. El siguiente encaminador es el encaminador al que el paquete debe ser entregado para alcanzar el destino. La tabla dice al encaminador que el coste para alcanzar la red Y a través del encaminador Z es x.

Las tablas de encaminamiento iniciales para la red de ejemplo se muestran en la Figura 21.20. En este punto, la tercera columna está vacía debido a que las únicas redes destino identificadas son aquellas conectadas al encaminador actual. Todavía no se han identificado los destinos con múltiples saltos y, por tanto, los siguientes encaminadores. Estas tablas básicas se envían a los vecinos (como se muestra en la figura mediante flechas). Por ejemplo, A envía su tabla de encaminamiento a los encaminadores B, F y E; B envía su tabla a los encaminadores C y A; y así sucesivamente.

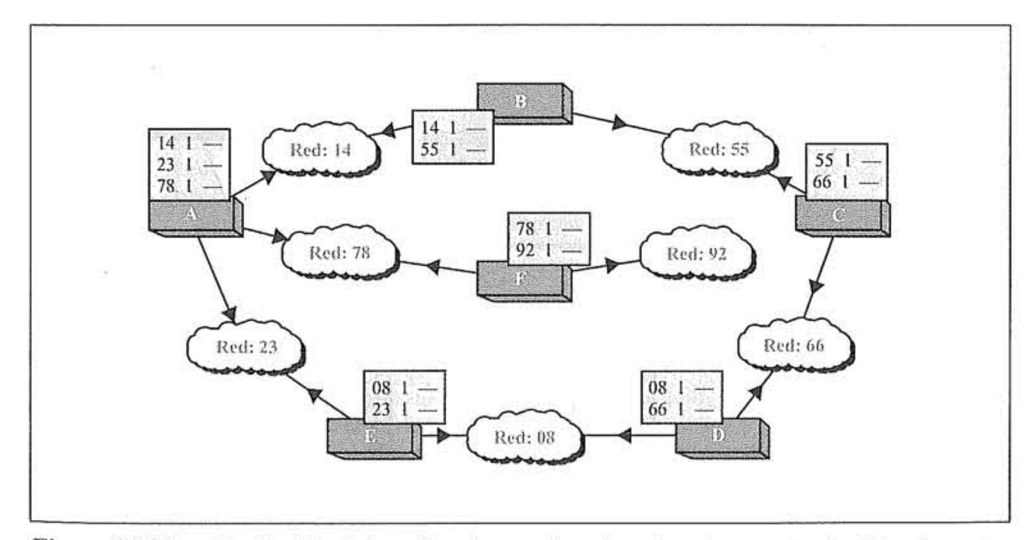


Figura 21.20. *Distribución de las tablas de encaminamiento basado en vector de distancias.*

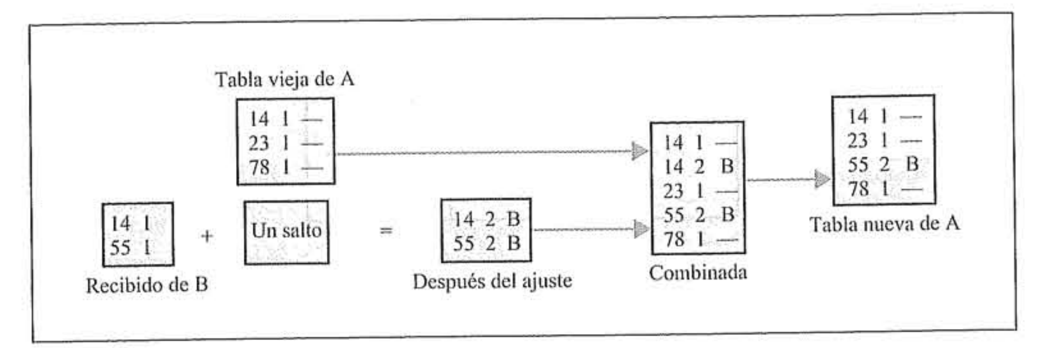


Figura 21.21. *Tabla de encaminamiento para el encaminador A.*

Actualización de las tablas

Cuando A recibe una tabla de encaminamiento de B, utiliza la información para actualizar su propia tabla (véase la Figura 21.21). Se dice: «B tiene que enviarme una tabla que muestre la forma en la que sus paquetes pueden ir a las redes 55 y 14. Yo sé que B es mi vecino, así que mis paquetes pueden alcanzar a B en un solo salto. Así, si añado un salto a todos los costes mostrados en la tabla de B, la suma será mi coste para alcanzar a esas otras redes.» Por tanto, A ajusta la información mostrada en la tabla de B, añadiendo uno a cada coste listado en esa tabla. Luego combina esta tabla con la suya para crear una nueva tabla con más información.

Esta tabla combinada puede contener datos duplicados para algunas redes destino. El encaminador A, por tanto, busca y elimina cualquier información duplicada y se queda con la versión que tenga el menor coste. Por ejemplo, como se puede ver en la Figura 21.21, el encaminador A puede enviar un paquete a la red 14 de dos formas. La primera, que no utiliza el siguiente encaminador, cuesta un salto. La segunda, mediante el encaminador B, requiere dos saltos (A a B y luego de B a 14). La primera opción tiene el menor coste; por tanto, se mantiene ésta y se elimina la segunda entrada. Este proceso de selección es la razón para la columna del coste: el coste permite al encaminador diferenciar entre varios encaminadores para el mismo destino.

Este proceso continúa para todos los encaminadores. Cada encaminador recibe información de sus vecinos y actualiza su tabla de encaminamiento. Si no hay más cambios, las tablas finales pueden ser como las mostradas en la Figura 21.22.

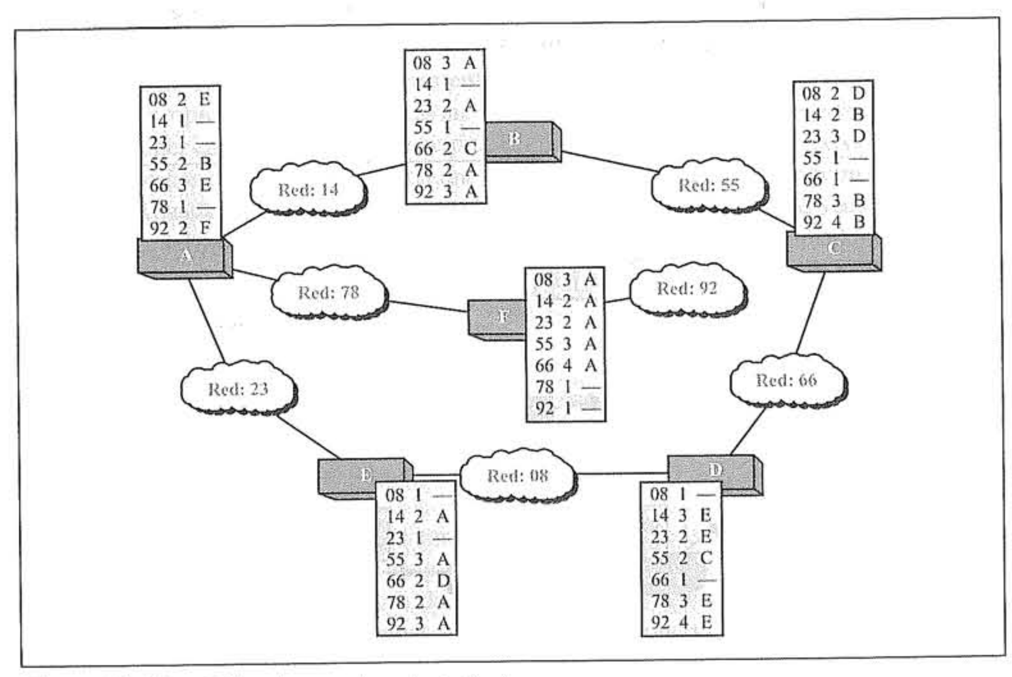


Figura 21.22. *Tablas de encaminamiento finales.*

Algoritmo de actualización

El algoritmo de actualización requiere que el encaminador primero añada un salto al campo contador de saltos para cada encaminador anunciado. El encaminador debería luego aplicar las siguientes reglas a cada encaminador anunciado:

1. Si el destino anunciado no está en la tabla de encaminamiento, el encaminador debería añadir la información del destino a la tabla.
2. Si el destino anunciado está en la tabla de encaminamiento,
   a. Si el campo siguiente salto es el mismo, el encaminador debería reemplazar la entrada de la tabla con la nueva. Observe que, incluso si el contador de saltos nuevo es mayor, la entrada anunciada debería reemplazar a la entrada de la tabla debido a que la nueva información invalida a la vieja.

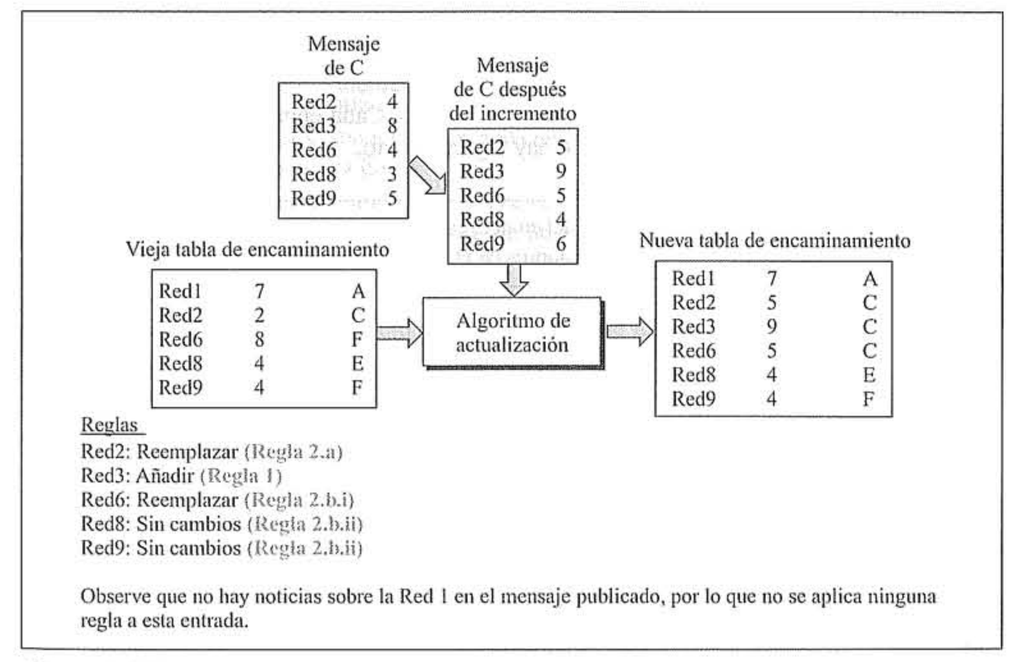


Figura 21.23. *Ejemplo 21.1.*

b. Si el campo con el siguiente salto no es el mismo,
   i. Si el contador de saltos nuevo es más pequeño que el de la tabla, el encaminador debería reemplazar la entrada de la tabla con la nueva.
   ii. Si el contador de saltos nuevo no es más pequeño (es el mismo o mayor), el encaminador no debería hacer nada.

Ejemplo 21.1

La Figura 21.23 muestra un ejemplo de actualización de la tabla de encaminamiento.

21.8. ENCAMINAMIENTO BASADO EN EL ESTADO DEL ENLACE

Las claves para comprender el **encaminamiento basado en el estado del enlace** son diferentes de las del encaminamiento basado en vector distancia. En el encaminamiento basado en el estado del enlace, cada encaminador comparte el conocimiento que tiene de sus vecinos con el resto de encaminadores de la red. Se cumplen las siguientes afirmaciones para el encaminamiento basado en el estado del enlace:

1. **Conocimiento sobre sus vecinos.** En lugar de enviar su tabla de encaminamiento entera, un encaminador sólo envía información sobre su vecindad.
2. **A todos los encaminadores.** Cada encaminador envía esta información a todos los encaminadores de la red, no sólo a sus vecinos. Esto se hace mediante un proceso denominado **inundación.** La inundación significa que un encaminador envía su información a todos sus vecinos (a través de todos sus puertos de salida). Cada vecino envía el paquete a todos sus vecinos y así sucesivamente. Cada encaminador que recibe el paquete envía copias a todos sus vecinos. Finalmente, cada encaminador (sin excepción) recibe una copia de la misma información.
3. **Compartir información cuando hay cambios.** Cada encaminador envía la información sobre sus vecinos cuando hay algún cambio.

> En el encaminamiento basado en el estado del enlace, cada encaminador envía el conocimiento que tiene sobre sus vecinos a todos los encaminadores de la red.

Compartir información

Se va a examinar a continuación el proceso seguido por el encaminamiento basado en el estado del enlace utilizando la misma red usada para el anterior algoritmo (véase la Figura 21.17).

La primera etapa en el encaminamiento basado en el estado del enlace es compartir información (véase la Figura 21.24). Cada encaminador envía el conocimiento que tiene sobre sus vecinos a todos los encaminadores de la red.

Coste del paquete

Tanto el encaminamiento basado en el vector distancia como el basado en el estado del enlace son algoritmos de mínimo coste. En el encaminamiento basado en el vector distancia, el coste se refiere al contador de saltos. En el encaminamiento basado en el estado del enlace, el coste es un valor con peso basado en una variedad de factores como los niveles de seguridad, el tráfico o el estado del enlace. El coste desde el encaminador A a la red 14, por tanto, podría ser diferente del coste desde A hasta 23.

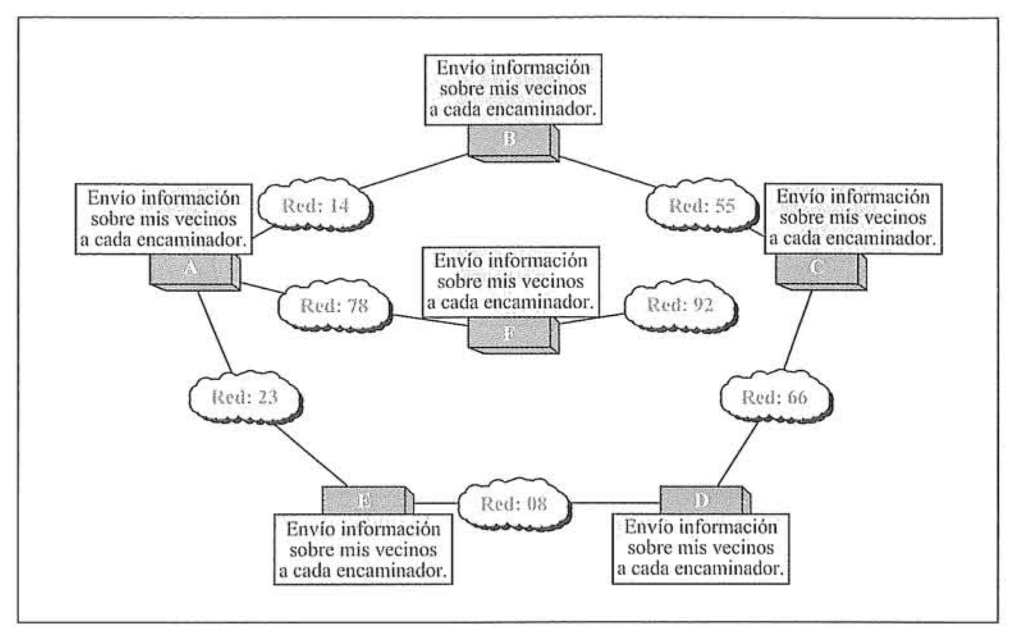


Figura 21.24. *Concepto de encaminamiento basado en el estado del enlace.*

En la determinación de una ruta, el coste de un salto se aplica a cada paquete cuando deja un encaminador y entra en una red. (Recuerde que el coste es un peso y no debería ser confundido con las tasas de transmisión pagadas por el emisor o el receptor.) Este coste se aplica cuando un paquete deja el encaminador. Dos factores gobiernan la forma en la que el coste se aplica a los paquetes en la determinación de una ruta:

- El coste es aplicado sólo por los encaminadores y no por el resto de estaciones de la red. Recuerde que el enlace de un encaminador al siguiente es una red, no un cable punto a punto. En muchas topologías (como un anillo o un bus), cada estación de la red examina la cabecera de cada paquete que pasa. Si el coste fuera añadido por cada estación, se acumularía de forma impredecible (el número de estaciones en una red puede cambiar por varios motivos, muchos de ellos impredecibles).
- El coste se aplica cuando el paquete deja el encaminador, no cuando entra. La mayoría de las redes son redes de difusión. Cuando un paquete se encuentra en la red, cada estación, incluida el encaminador puede capturarlo. Por tanto, no se puede asignar ningún coste a un paquete cuando va de una red a un encaminador.

La Figura 21.25 muestra nuestra internet de ejemplo en el algoritmo de encaminamiento basado en el estado del enlace. Los costes mostrados son arbitrarios; en la práctica real podrían reflejar atributos de cada red.

Figura 21.25. *Coste en el encaminamiento basado en el estado del enlace.*

Paquete con el estado del enlace

Cuando un encaminador inunda la red con la información sobre sus vecinos, se dice que va a publicar. La base de esta publicación es un paquete pequeño denominado **paquete de estado del enlace (LSP)**; véase la Figura 21.26. Un LSP normalmente contiene cuatro campos: el identificador del que realiza la publicación, el identificador de la red destino, el coste y el identificador del encaminador vecino.

Obtención de información sobre los vecinos

Un encaminador obtiene información sobre sus vecinos de forma periódica enviándoles un pequeño paquete de saludo. Si los vecinos responden a este saludo, como es de esperar, se asume que están vivos y funcionando. Si no lo hacen, se asume que ha ocurrido un cambio y el encaminador que envía el paquete de saludo alerta al resto de la red en su siguiente LSP. Estos paquetes de saludo son lo suficientemente pequeños para que no utilicen de forma significativa recursos de red (al contrario que las tablas de encaminamiento utilizadas en el algoritmo basado en el vector distancia).

Inicialización

Imagine que todos los encaminadores de nuestra red de ejemplo comienzan a funcionar al mismo tiempo. Cada encaminador envía un paquete de saludo a sus vecinos para determinar

Advertencia	Red	Coste	Vecino
....	......	....	....
....	......	....	....

Figura 21.26. *Paquete de estado del enlace.*

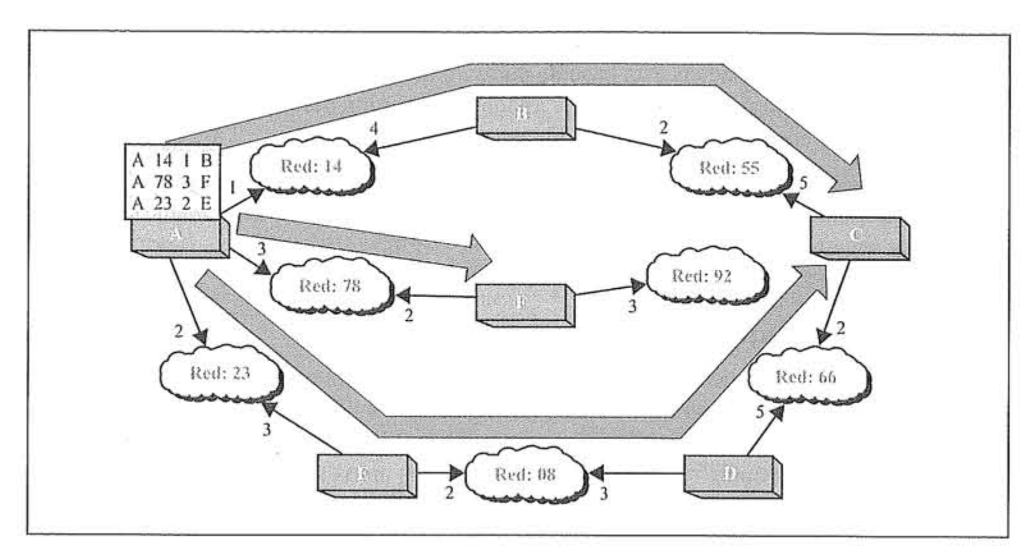


Figura 21.27. *Inundación del LSP de A.*

Anunciante	Red	Coste	Vecino
A A A	14 78 23	1 3 2	B F E
B B	14 55	4 2	A C
C C	55 66	5 2	B D
D D	66 08	5 3	C E
E E	23 08	3 2	A D
F F	78 92	2 3	A

Figura 21.28. *Base de datos de estados de enlaces.*

el estado de cada enlace. Luego prepara un paquete LSP basado en el resultado de estos mensajes de saludo e inunda la red con él. La Figura 21.27 muestra este proceso para el encaminador A. Las mismas etapas son realizadas por cada encaminador de la red cuando se inicializan.

Base de datos de estados de enlaces

Cada encaminador recibe cada LSP y coloca la información en una **base de datos de estados de enlaces.** La Figura 21.28 muestra la base de datos para nuestra red de ejemplo.

Debido a que cada encaminador recibe los mismos LSP, cada encaminador construye la misma base de datos. Almacena esta base de datos en disco y la utiliza para calcular su tabla de encaminamiento. Si un encaminador se añade o se elimina del sistema, la base de datos completa debe ser compartida para una rápida actualización.

> En el encaminamiento basado en el estado del enlace, cada encaminador tiene exactamente la misma base de datos de estados de enlaces.

El algoritmo de Dijkstra

Para calcular la tabla de encaminamiento, cada encaminador aplica un algoritmo denominado **algoritmo de Dijkstra** a su base de datos de estados de enlaces. El algoritmo de Dijkstra calcula el camino más corto entre dos puntos de una red utilizando un grafo de nodos y arcos. Los nodos son de dos tipos: redes y encaminadores. Los arcos son las conexiones entre un encaminador y una red (encaminador a red y red a encaminador). El coste se aplica sólo al arco situado ente un encaminador y la red. El coste del arco de una red a un encaminador siempre es cero (véase la Figura 21.29).

Árbol del camino más corto

El algoritmo de Dijkstra sigue cuatro pasos para descubrir lo que se denomina **árbol del camino más corto** (tabla de encaminamiento) para cada encaminador:

- El algoritmo comienza a construir un árbol identificando su raíz. La raíz de cada árbol en cada encaminador es el propio encaminador. El algoritmo, a continuación, añade todos los nodos que pueden ser alcanzados desde esa raíz, en otras palabras, todos los nodos vecinos. Los nodos y los arcos son temporales en esta etapa.
- El algoritmo compara los arcos temporales del árbol e identifica el arco con el coste acumulado más bajo. Este arco y el nodo al que se conecta se hacen permanentes en el árbol del camino más corto.

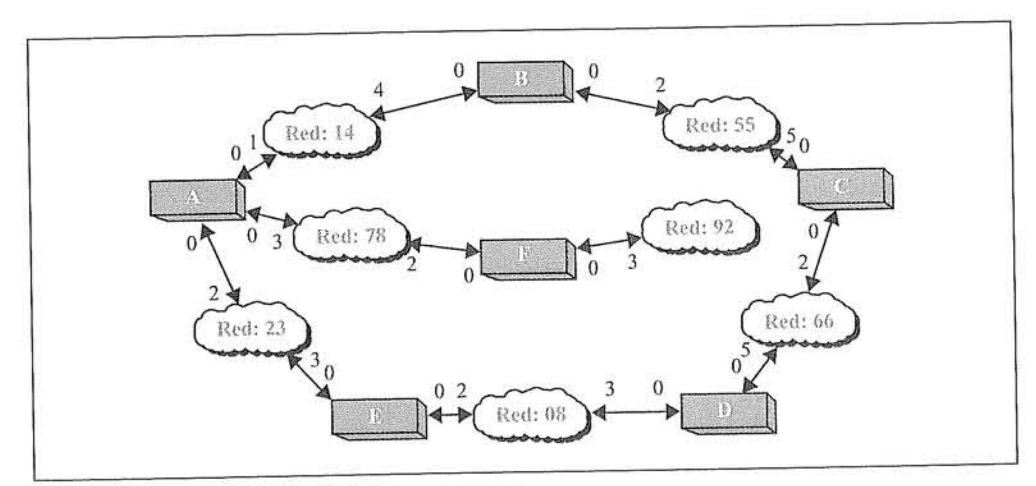


Figura 21.29. *Costes en el algoritmo de Dijkstra.*

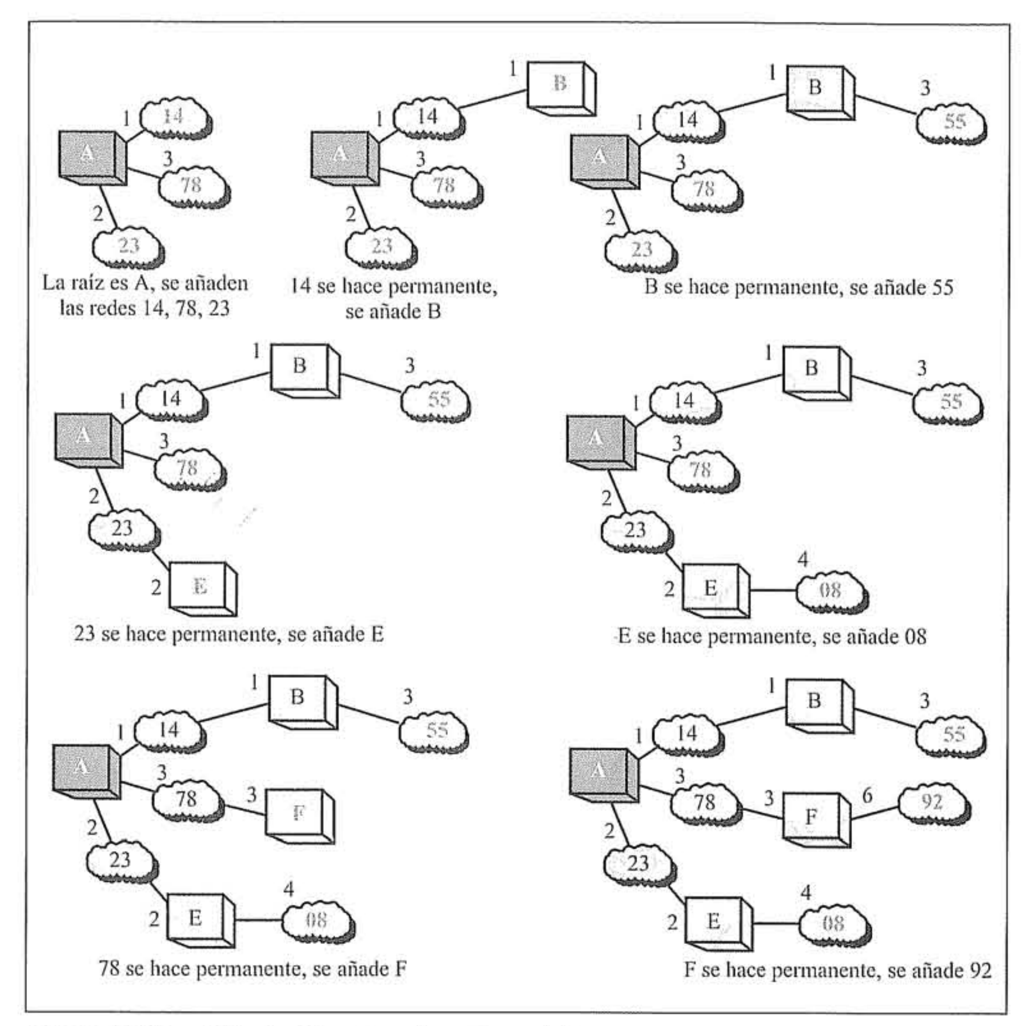


Figura 21.30. *Cálculo del camino más corto, parte 1.*

- El algoritmo examina la base de datos e identifica a cada nodo que puede ser alcanzado desde su nodo elegido. Estos nodos y sus arcos se añaden de forma temporal al árbol.
- Las dos últimas etapas se repiten hasta que cada nodo de la red se ha convertido en parte permanente del árbol. Los únicos arcos permanentes son aquellos que representan la ruta (de menor coste) más corta a cada nodo.

La Figura 21.30 muestra las etapas del algoritmo de Dijkstra aplicadas por el nodo A de nuestra internet de ejemplo. El número con el coste al lado de cada nodo representa el coste acumulado desde el nodo raíz, no el coste del arco individual. El segundo y el tercer paso se repiten hasta que cuatro nodos más se hacen permanentes.

La Figura 21.31 muestra la obtención del árbol del camino más corto para el encaminador A.

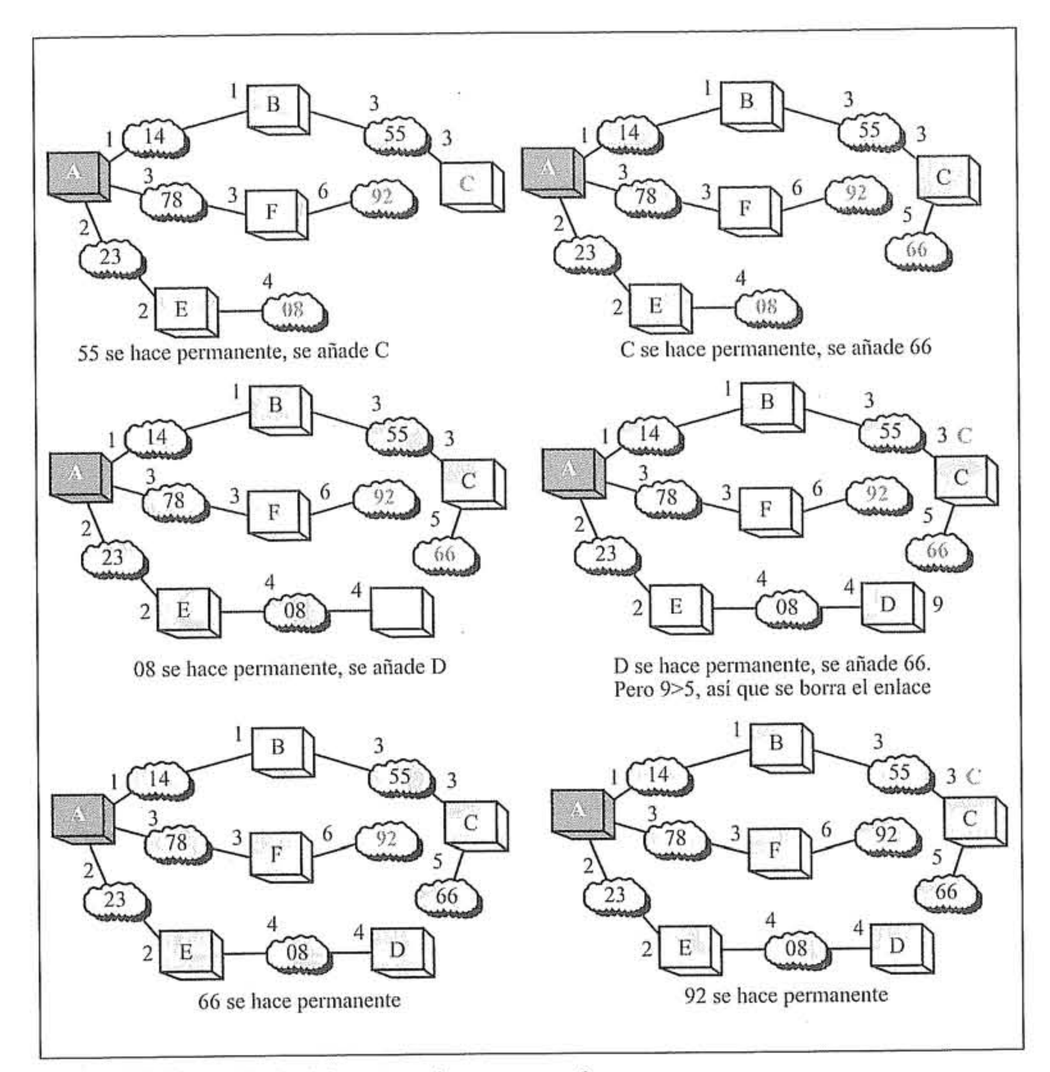


Figura 21.31. *Cálculo del camino más corto, parte 2.*

Red	Coste	Siguiente encaminador
08	4	E
14	1	—
23	2	—
55	3	B
66	5	B
78	3	—
92	6	F

Figura 21.32. *Tabla de encaminamiento con los estados de los enlaces para el encaminador A.*

Tablas de encaminamiento

Cada encaminador ahora utiliza el árbol del camino más corto para construir su tabla de encaminamiento. Cada encaminador utiliza el mismo algoritmo y la misma base de datos de estados de enlaces para calcular su propio árbol de camino más corto y su tabla de encaminamiento: estas son diferentes para cada encaminador. La Figura 21.32 muestra la tabla obtenida por el encaminador A.

> En el encaminamiento basado en el estado del enlace, la base de datos de estados de enlaces es la misma en todos los encaminadores, pero los árboles de camino más corto y las tablas de encaminamiento son diferentes para cada encaminador.

21.9. TÉRMINOS Y CONCEPTOS CLAVE

algoritmo de árbol de expansión
algoritmo de Dijkstra
algoritmo de encaminamiento
árbol del camino más corto
base de datos de estados de enlaces
conmutador de almacenamiento y reenvío
conmutador de encaminamiento
conmutador de reenvío directo
contador de saltos
convertidor de protocolos
dispositivos de interconexión de redes
encaminador
encaminador multiprotocolo
encaminamiento
encaminamiento basado en el estado del enlace
encaminamiento basado en mínimo coste
encaminamiento basado en vector distancia
encaminamiento desde el origen
inundación
paquete de estado del enlace (LSP)
pasarela
puente
puente multipuerto
puente simple
puente transparente
puente/encaminador
repetidor
tabla de encaminamiento
tiempo de vida (TTL)
tiempo de vida de un paquete

21.10. RESUMEN

- Los dispositivos de interconexión de redes conectan redes para crear una internet.
- Los dispositivos de interconexión de redes se dividen en cuatro categorías: repetidores, puentes, encaminadores y pasarelas.
- Un repetidor es un dispositivo que opera en el nivel físico del modelo OSI. Su objetivo es regenerar una señal.
- Los puentes funcionan en el nivel físico y de enlace de datos del modelo OSI. Tiene acceso a las direcciones de las estaciones y pueden reenviar o filtrar un paquete a una red.
- Los encaminadores operan en los niveles físico, de enlace de datos y de red del modelo OSI. Deciden el camino que debería tomar un paquete.

- Las pasarelas operan en todos los siete niveles del modelo OSI. Convierten un protocolo a otro y pueden, por tanto, conectar dos redes distintas.
- Hay dos métodos para calcular el camino más corto entre dos encaminadores: el encaminamiento basado en el vector distancia y el encaminamiento basado en el estado del enlace.
- En el encaminamiento basado en el vector distancia, cada encaminador comparte de forma periódica su conocimiento sobre la red con los encaminadores que son vecinos inmediatos.
- En el encaminamiento basado en el vector distancia, cada encaminador tiene una tabla con información sobre las redes (identificador, coste y el encaminador para acceder a una red concreta).
- En el encaminamiento basado en el estado del enlace, cada encaminador crea su propio paquete de estado del enlace (LSP). El resto de encaminadores reciben este LSP a través de un proceso de inundación. Todos los encaminadores, por tanto, tienen la misma información; esta información es almacenada en una base de datos de estados de enlaces. A partir de esta base de datos común, cada encaminador encuentra sus propios caminos más cortos al resto de encaminadores utilizando el algoritmo de Dijkstra.
- En el encaminamiento basado en el estado del enlace, el coste es asignado a cada paquete cuando deja el encaminador.
- En el encaminamiento basado en el estado del enlace, cada encaminador tiene su propia y única tabla de encaminamiento.

21.11. MATERIAL PRÁCTICO

Preguntas de revisión

1. ¿En qué se diferencia un repetidor de un amplificador?
2. Describa las funciones de los cuatros dispositivos de conexión mencionados en este capítulo.
3. Enumere los dispositivos de interconexión de redes de acuerdo a su complejidad e indique los niveles del modelo OSI en los que operan.
4. ¿Qué es y cómo se crea la base de datos de LSP?
5. Describa algunos de los factores que se necesita considerar en la conexión de redes.
6. Contraste y compare el encaminamiento basado en el vector distancia con el basado en el estado del enlace.
7. ¿Qué es una red?
8. ¿Qué es una red interconectada?
9. ¿Qué quiere decir que un puente puede filtrar tráfico? ¿Por qué es importante el filtrado?
10. ¿Cuál es la diferencia entre un puente simple y uno transparente?
11. ¿Cuál es la función de un encaminador?
12. ¿En qué se diferencia un encaminador de un puente?
13. En encaminamiento, ¿qué significa el término *más corto?*
14. ¿Por qué el encaminamiento dinámico es mejor que el estático?
15. ¿Cuál es el papel de un encaminador en el control del tiempo de vida de un paquete?

16. ¿Cuál es la función de una pasarela?
17. ¿En qué se diferencia un encaminador multiprotocolo de un encaminador convencional de un solo protocolo?
18. ¿Cómo decide un puente/encaminador hacia dónde debería encaminarse un paquete de entrada?
19. ¿De qué forma incrementa la eficiencia de una red un conmutador de nivel de enlace de datos?
20. ¿Cuáles son los dos algoritmos de encaminamiento más populares?
21. ¿Cuáles son los tres principales elementos del encaminamiento basado en el vector distancia?
22. Describa una tabla de encaminamiento inicial para el encaminamiento basado en el vector distancia.
23. ¿Cuáles son los tres principales elementos del encaminamiento basado en el estado del enlace?
24. ¿Qué algoritmo se utiliza en el encaminamiento basado en el estado del enlace para obtener las tablas de encaminamiento?

Preguntas con respuesta múltiple

25. ¿Cuál de los siguientes no es un dispositivo de interconexión de redes?
    a. puente
    b. pasarela
    c. encaminador
    d. todos los anteriores
26. ¿Cuál de los siguientes utilizan el número más grande de niveles del modelo OSI?
    a. puente
    b. repetidor
    c. encaminador
    d. pasarela
27. Un puente encamina o filtra un paquete comparando la información de su tabla de direcciones con _____ del paquete.
    a. la dirección de nivel 2 del origen
    b. la dirección física del nodo origen
    c. la dirección de nivel 2 del destino
    d. la dirección de nivel 3 del destino
28. ¿Qué hace un puente simple?
    a. filtra un paquete de datos
    b. reenvía un paquete de datos
    c. extiende un lan
    d. todos los anteriores
29. ¿Cuál de los siguientes son tipos de puentes?
    a. simple, complejo, transparente
    b. simple, transparente, multipuerto
    c. simple, complejo, multipuerto
    d. de expansión, de contrato, de suspensión
30. El camino más corto en el encaminamiento se puede referir a _____.
    a. el camino menos caro
    b. el camino con la mínima distancia
    c. el camino con el número más pequeño de saltos
    d. cualquiera o una combinación de los anteriores

31. ¿Qué algoritmo de encaminamiento requiere más tráfico entre los encaminadores para configuración y actualización?
    a. vector distancia
    b. estado del enlace
    c. Dijkstra
    d. enlace de vector
32. En el encaminamiento basado en el vector distancia, cada encaminador recibe vectores de _____.
    a. todos los encaminadores de la red
    b. todos los encaminadores menos dos
    c. una tabla almacenada por el *software*
    d. sólo sus vecinos
33. Si hay cinco encaminadores y seis redes en una internet que utiliza el encaminamiento basado en el estado del enlace, ¿cuántas tablas de encaminamiento hay?
    a. 1
    b. 5
    c. 6
    d. 11
34. Si hay cinco encaminadores y seis redes en una internet, ¿cuántas bases de datos de enlace de estados hay?
    a. 1
    b. 5
    c. 6
    d. 11
35. En el encaminamiento basado en el estado del enlace, la inundación permite que los cambios sean registrados por _____.
    a. todos los encaminadores
    b. solo los encaminadores vecinos
    c. algunos encaminadores
    d. todas la redes
36. En un LSP, el elemento que publica es _____.
    a. un encaminador
    b. una red
    c. un paquete de datos
    d. ninguna de las anteriores
37. ¿Cuál de las siguientes opciones puede ser manejada por una pasarela?
    a. conversión de protocolos
    b. reajuste del tamaño del paquete
    c. encapsulado de datos
    d. a y b
38. ¿En qué niveles del modelo OSI funcionan las pasarelas?
    a. en los tres inferiores
    b. los cuatro superiores
    c. los siete
    d. todos excepto el nivel físico
39. Los repetidores funcionan en el nivel(es) _____.
    a. físico

    b. de enlace de datos
    c. de red
    d. a y b
40. Los puentes funcionan en el nivel(es) _____.
    a. físico
    b. de enlace de datos
    c. de red
    d. a y b
41. Un repetidor toma una señal debilitada o corrupta y la _____.
    a. amplifica
    b. regenera
    c. remuestrea
    d. reencamina
42. Un puente tiene acceso a la dirección _____ de una estación de alguna red.
    a. física
    b. de red
    c. punto de acceso a servicio
    d. todas las anteriores
43. ¿En qué tipo de puente se debe introducir de forma manual la tabla de direcciones?
    a. simple
    b. transparente
    c. multipuerto
    d. a y b
44. ¿Qué tipo de puente construye y actualiza su tabla a partir de la información de dirección de los paquetes?
    a. simple
    b. transparente
    c. a y b
    d. ninguno de los anteriores
45. Los encaminadores funcionan en los niveles _____.
    a. físico y de enlace de datos
    b. físico, de enlace de datos y de red
    c. enlace de datos y de red
    d. red y transporte
46. ¿En qué método de encaminamiento todos los encaminadores tienen una base de datos común?
    a. vector distancia
    b. estado del enlace
    c. vector del enlace
    d. ninguno de los anteriores
47. Un paquete que viaja de una red en anillo con paso de testigo a otra red idéntica utiliza los servicios de un _____. (Cada red es una red independiente.)
    a. puente simple
    b. repetidor
    c. encaminador
    d. puente transparente

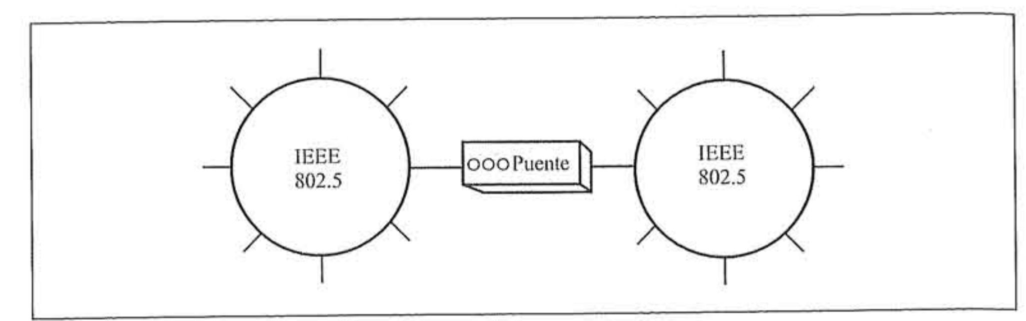


Figura 21.33. *Ejercicio 48.*

Ejercicios

48. Suponga un puente conectado a dos LAN 802.5 (red en anillo con paso de testigo) como se muestra en la Figura 21.33. Una estación de la red de la izquierda envía una trama a una estación de la red de la derecha. El puente actúa como una estación en la red de la izquierda y como otra en la red de la derecha. ¿Debería el puente, después de reenviar una copia a la red de la derecha, simular que ha recibido la trama activando los bits de trama copiada de y dirección reconocida y luego enviar la trama a la siguiente estación, o debería no preocuparse de estos problemas y funcionar como si la trama se hubiera perdido?
49. Si se conectan dos LAN 802.3 (Ethernet), ¿se tienen los problemas mencionados en el Ejercicio 48?
50. Si se conectan una LAN 802.3 (Ethernet) a una 802.5 (red en anillo con paso de testigo), ¿se tiene el mismo problema que el mencionado en el Ejercicio 48?
51. Considere un puente que conecta una LAN 802.3 (Ethernet) a una LAN 802.5 (red en anillo con paso de testigo) como se muestra en la Figura 21.34. Si el puente reenvía una trama desde la LAN Ethernet a la LAN que usa una red en anillo con paso de testigo, responda a las siguientes preguntas:
    a. ¿Tiene que reformatear el puente la trama?
    b. ¿Necesita el puente recalcular el valor del campo CRC?
    c. ¿Tiene que invertirse el orden de los bits?
    d. ¿Cómo se fija el bit de prioridad para la red en anillo con paso de testigo?

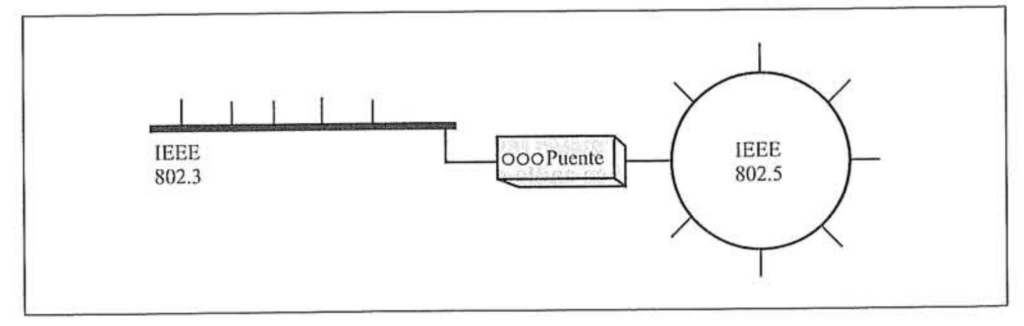


Figura 21.34. *Ejercicio 51.*

52. Repita el ejercicio 51 para una trama que va desde la red en anillo con paso de testigo a la Ethernet.
53. En el Ejercicio 52, suponga que la red en anillo con paso de testigo transmite a 16 Mbps y la Ethernet recibe a 10 Mbps. El puente necesita un buffer para almacenar la información para que pueda enviarla a un lugar más lento. ¿Qué ocurre si el buffer se desborda?
54. Si un puente envía datos desde una red Ethernet a una red en anillo con paso de testigo, ¿cómo maneja el puente las colisiones?
55. Si un puente envía datos desde una red en anillo con paso de testigo a una red Ethernet, ¿cómo maneja el puente las colisiones?
56. Un encaminador que utiliza encaminamiento basado en el vector distancia tiene la siguiente tabla de encaminamiento:

Red 2	6	A
Red3	4	E
Red4	3	A
Red6	2	D
Red7	1	B

El encaminador recibe el siguiente paquete del encaminador C:

Red2	4
Red3	5
Red4	2
Red6	3
Red7	2

Muestre la tabla de encaminamiento actualizada por el encaminador.

57. Un encaminador que utiliza el encaminamiento basado en el vector distancia tiene la siguiente tabla de encaminamiento:

Red2	6	A
Red3	4	E
Red4	3	A
Red6	2	C
Red7	8	B

El encaminador recibe el siguiente paquete desde el encaminador C:

Red2	4
Red4	3
Red7	3

Muestre la tabla de encaminamiento actualizada por el encaminador.

58. Un encaminador que utiliza el encaminamiento basado en el vector distancia tiene la siguiente tabla de encaminamiento:

Red2	6	A
Red3	4	C
Red4	3	A
Red6	2	C
Red7	3	B

El encaminador recibe el siguiente paquete desde el encaminador C:

Red2	4
Red3	5
Red4	4
Red6	3
Red7	2

Muestre la tabla de encaminamiento actualizada por el encaminador.

59. Utilizando la Figura 21.29, busque el árbol de camino más corto y la tabla de encaminamiento para el encaminador B.
60. Utilizando la Figura 21.29, busque el árbol de camino más corto y la tabla de encaminamiento para el encaminador E.
61. Utilizando la Figura 21.29, busque el árbol de camino más corto y la tabla de encaminamiento para el encaminador D.
62. Utilizando la Figura 21.29, busque el árbol de camino más corto y la tabla de encaminamiento para el encaminador E.
63. Utilizando la Figura 21.29, busque el árbol de camino más corto y la tabla de encaminamiento para el encaminador F.

CAPÍTULO 22

Nivel de transporte

El **nivel de transporte** constituye el núcleo del modelo OSI. Los protocolos de este nivel se encargan de la entrega de datos desde un programa de aplicación situado en un dispositivo a otro programa de aplicación situado en otro dispositivo. Más importante aún, actúan como un enlace entre los protocolos de los niveles superiores (sesión, presentación y de aplicación) y los servicios ofrecidos por los niveles inferiores (de red, de enlace de datos y físico). Los niveles superiores pueden utilizar los servicios del nivel de transporte para interactuar con la red sin tener que interactuar o preocuparse directamente con la existencia de los niveles inferiores. Para que esta separación sea posible, el nivel de transporte es independiente de la red física.

Para comprender mejor el papel del nivel de transporte, es útil visualizar una internet formada por una variedad de redes físicas diferentes como las LAN, MAN o WAN mostradas en la Figura 22.1. Estas redes se conectan para permitir el transporte de datos desde una computadora de una red a otra computadora situada en otra red. Cuando la transmisión se transfiere de red a red, los datos pueden ser encapsulados en diferentes tipos y longitudes de paquetes. Las funciones del nivel de enlace o de red de una red pueden fraccionar los datos en segmentos más pequeños para que entren en un tamaño de paquete o trama más limitado, mientras que las funciones paritarias de otra red pueden enlazar varios segmentos juntos en un único gran paquete. Los datos pueden incluso compartir una trama con otros segmentos de datos no relacionados. No importa qué transformaciones deban realizarse; sin embargo, los datos deben llegar a su destino en su formato original.

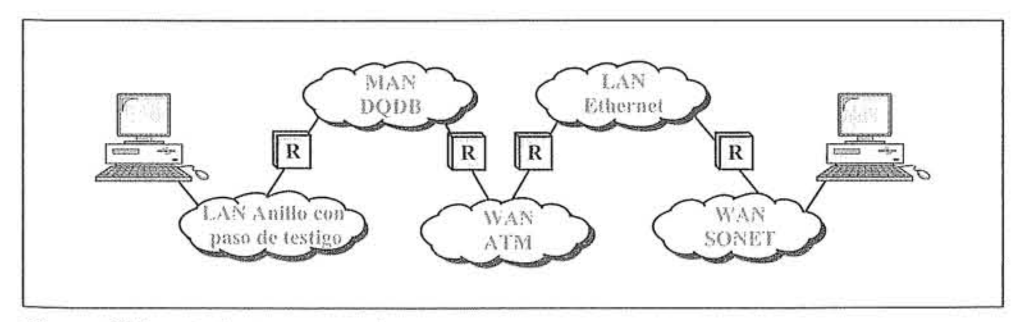


Figura 22.1. *Redes interconectadas.*

Los protocolos de los niveles superiores son ajenos a los problemas o características intrínsecas de las redes físicas, por lo que sólo tiene que desarrollarse un pequeño conjunto de *software* de nivel superior. Para los niveles superiores, las redes físicas individuales son una simple nube homogénea, que de alguna forma toma los datos y los entrega a su destino de forma segura. Por ejemplo, incluso si en una internet se sustituye una red Ethernet por una red en anillo con paso de testigo, los niveles superiores son ajenos a este cambio. Para ellos, la internet sigue siendo una simple red sin cambios. El nivel de transporte ofrece esta transparencia.

Ejemplo de protocolos de nivel de transporte son el Protocolo de control de transmisión (TCP) y el Protocolo de datagramas de usuario (UDP), ambos tratados en el Capítulo 24.

22.1. SERVICIOS DEL NIVEL DE TRANSPORTE

Los servicios del nivel de transporte son implementados por un protocolo de transporte utilizado entre dos entidades de transporte (véase la Figura 22.2).

Los servicios ofrecidos son similares a los ofrecidos por el nivel de enlace de datos. El nivel de enlace de datos, sin embargo, está diseñado para ofrecer sus servicios dentro de una única red, mientras que el nivel de transporte ofrece estos servicios a lo largo de un conjunto de redes interconectadas. El nivel de enlace de datos controla el nivel físico, mientras que el nivel de transporte controla todos los tres niveles inferiores (véase la Figura 22.3).

Los servicios ofrecidos por los protocolos de nivel de transporte se pueden dividir en cinco amplias categorías: entrega extremo a extremo, direccionamiento, entrega fiable, control de flujo y multiplexación (véase la Figura 22.4).

Entrega extremo a extremo

El nivel de red se encarga de la entrega extremo a extremo de paquetes individuales, pero no ve ninguna relación entre estos paquetes, incluso aunque pertenezcan al mismo mensaje.

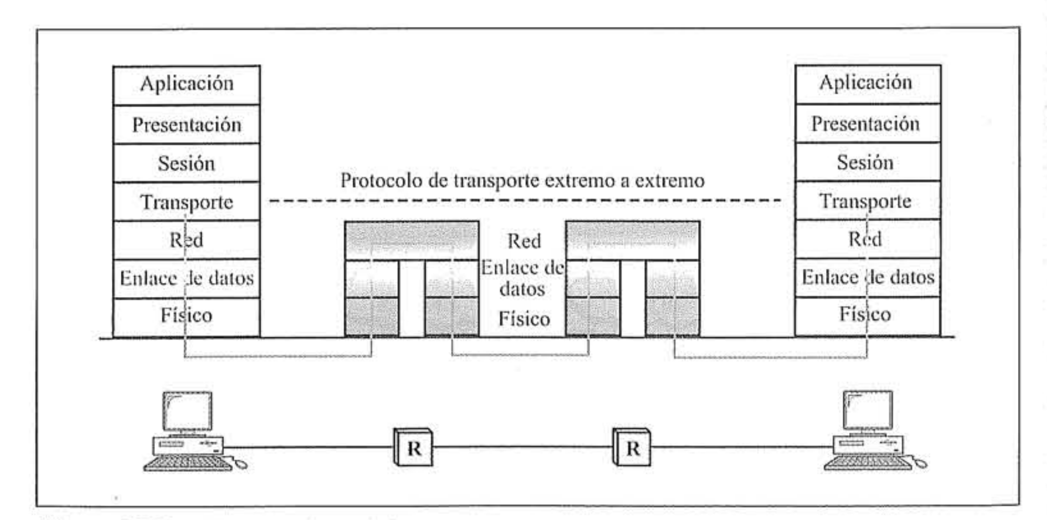


Figura 22.2. *Concepto de nivel de transporte.*

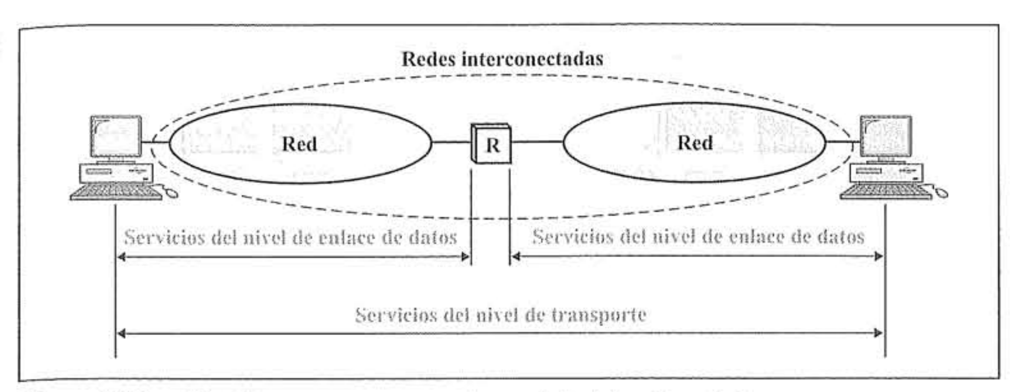


Figura 22.3. *Nivel de transporte comparado con el nivel de enlace de datos.*

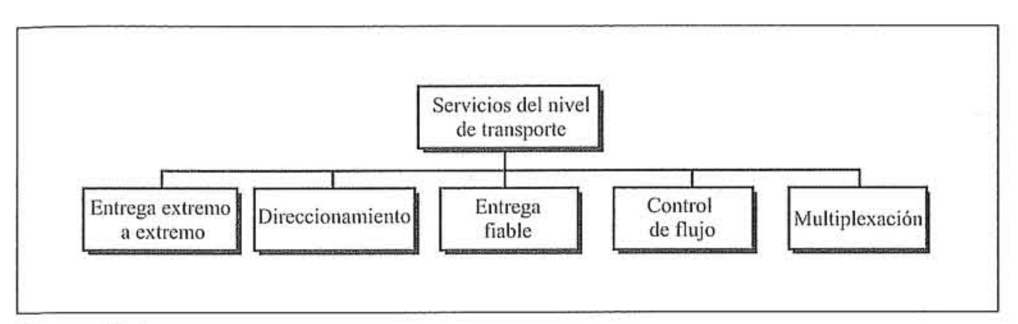


Figura 22.4. *Servicios del nivel de transporte.*

Trata a cada paquete como una entidad. El nivel de transporte, por otro lado, se asegura de que el mensaje entero (no sólo un paquete) llegue intacto. De esta forma, se encarga de la **entrega extremo a extremo (origen a destino)** de un **mensaje** entero.

Direccionamiento

El nivel de transporte interactúa con funciones del nivel de sesión. Sin embargo, muchos protocolos (como pilas de protocolos, que significa grupos de protocolos que interactúan en niveles diferentes) combinan protocolos de nivel de sesión, presentación y aplicación en una tarea, denominada aplicación. En estos casos, la entrega a las funciones de nivel de sesión es, en realidad, la entrega a una aplicación. Por ello, la comunicación tiene lugar no solo de una máquina a otra máquina, sino de una aplicación a otra aplicación. Los datos generados por una aplicación de una máquina deben ser recibidos no sólo por la otra máquina, sino por la aplicación correcta dentro de esa máquina.

En la mayoría de los casos, por tanto, terminamos con la comunicación entre muchas a muchas entidades, denominadas **puntos de acceso al servicio** (véase la Figura 22.5). Pero, ¿cómo identifica la red qué punto de acceso a servicio en una estación está comunicándose con qué punto de acceso a servicio en otra estación?

Para asegurar la entrega precisa de un punto de acceso a servicio a otro, se necesita otro nivel de direccionamiento además de los utilizados en los niveles de red y de enlace de datos. Los protocolos de nivel de enlace de datos necesitan conocer que dos computadoras dentro

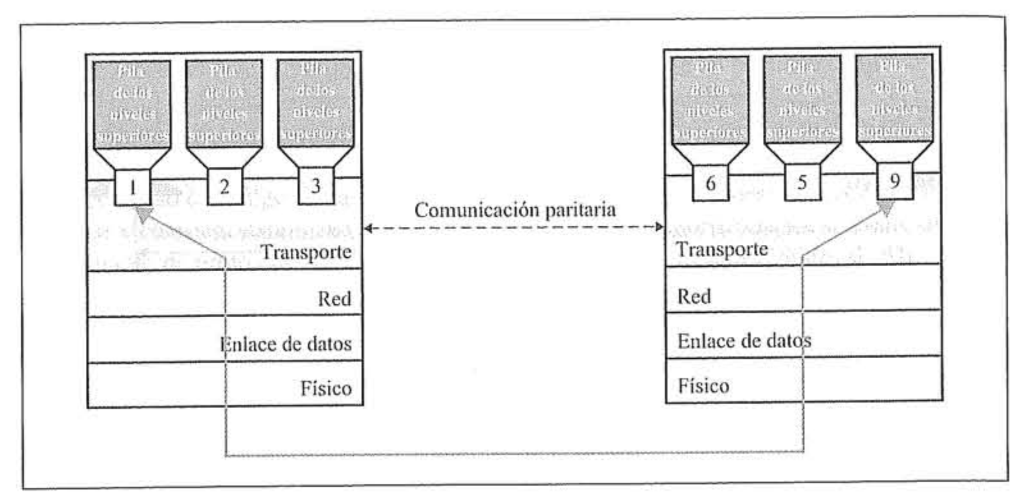


Figura 22.5. *Puntos de acceso al servicio.*

de una red se están comunicando. Los protocolos de nivel de red necesitan conocer que dos computadoras dentro de una internet se están comunicando. Pero en el nivel de transporte, el protocolo necesita conocer qué protocolos de nivel superior se están comunicando.

Entrega fiable

En el nivel de transporte, la **entrega fiable** tiene cuatro aspectos: control de errores, control de secuencia, control de pérdidas y control de duplicación (véase la Figura 22.6).

Control de errores

Cuando se transfieren datos, el principal objetivo de la fiabilidad es el **control de errores**. Como se dijo anteriormente, los datos deben ser entregados a su destino en la misma forma en la que se originaron en el origen. Mientras que en el transporte de datos físicos, una entrega libre de errores al 100 por 100 es probablemente imposible, los protocolos de nivel de transporte están diseñados para que esta probabilidad sea los más posible.

Los mecanismos para el tratamiento de errores en este nivel se basan en la detección de errores y en la retransmisión. Este manejo de errores normalmente está realizado por algoritmos implementados en *software*, tales como la suma de comprobación (véase el Capítulo 9, «Detección y corrección de errores»).

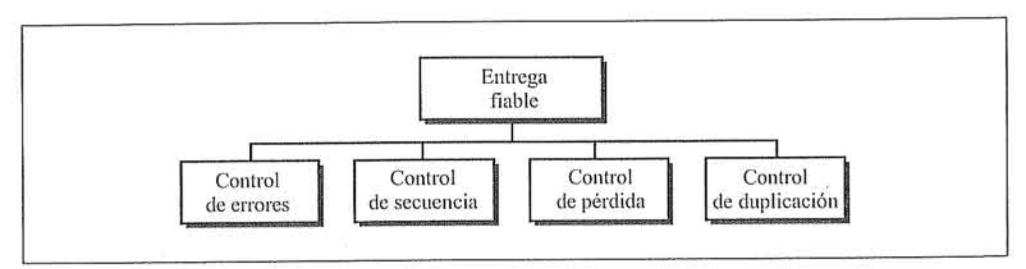


Figura 22.6. *Aspectos de la entrega fiable.*

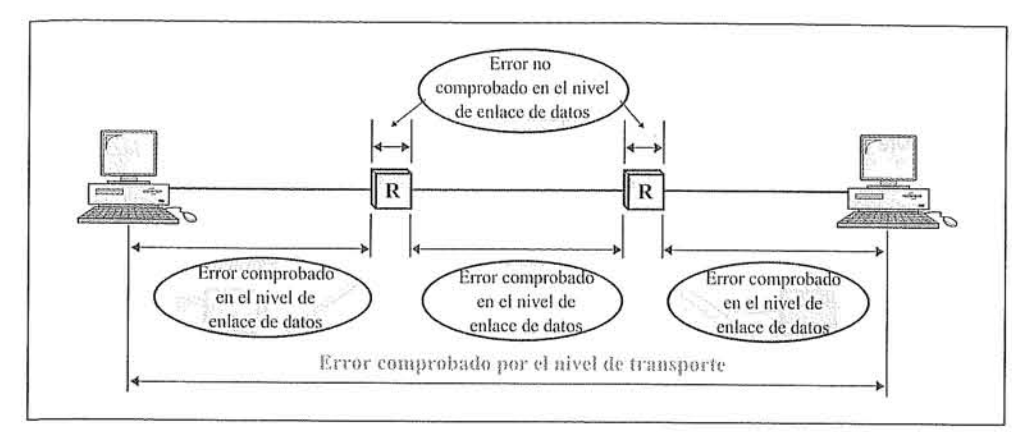


Figura 22.7. *Control de errores en el nivel de enlace de datos y en el nivel de transporte.*

Pero si tenemos que tratar errores en el nivel de enlace de datos, ¿por qué se necesita en el nivel de transporte? Las funciones del nivel de enlace de datos garantizan la entrega libre de errores nodo a nodo para cada enlace. Sin embargo, la fiabilidad nodo a nodo no asegura la fiabilidad extremo a extremo. La Figura 22.7 muestra una situación en la que un error introducido no puede ser tratado por los controles de error que realiza el nivel de enlace de datos.

En la Figura 22.7, el nivel de enlace de datos se encarga de que los paquetes que pasan de una red a otra se encuentren libres de errores. Pero se introduce un error cuando el paquete es procesado dentro de los encaminadores. Este error no será detectado por las funciones del nivel de enlace de datos del siguiente enlace debido a que estas funciones sólo comprueban que no se han introducido errores entre el comienzo y el fin de ese enlace. El nivel de transporte debe, por tanto, hacer su propia comprobación extremo a extremo para estar seguro de que el paquete ha llegado tal y como fue enviado por el origen.

Control de secuencia

El segundo aspecto de la fiabilidad implementada por el nivel de transporte es el **control de secuencia.** En el extremo emisor, el nivel de transporte es responsable de asegurar que las unidades de datos recibidas desde los niveles superiores son utilizables por los niveles inferiores. En el extremo receptor, debe encargarse de asegurar que los distintos trozos de una transmisión son reensamblados correctamente.

Segmentación y concatenación. Cuando el tamaño de la unidad de datos recibida desde el nivel superior es demasiado grande para el datagrama utilizado en el nivel de red y la trama del nivel de enlace de datos, el nivel de transporte la divide en bloques más pequeños. El proceso de división se denomina **segmentación.** Cuando, por otro lado, el tamaño de las unidades de datos que pertenece a una misma sesión es tan pequeño que varias de ellas caben en un único datagrama o trama, el protocolo de transporte las combina en una única unidad de datos. El proceso de combinación se denomina **concatenación.**

Número de secuencia. La mayor parte de los servicios de nivel de transporte añaden un **número de secuencia** al final de cada segmento. Si una unidad de datos más grande ha sido segmentada, los números indican el orden para el reensamblado. Si varias unidades más pequeñas han sido concatenadas, los números indican el final de cada subunidad y permiten ser separadas de forma precisa en el destino. Además, cada segmento transporta un campo que indica si es el segmento final de una transmisión o aún quedan más segmentos.

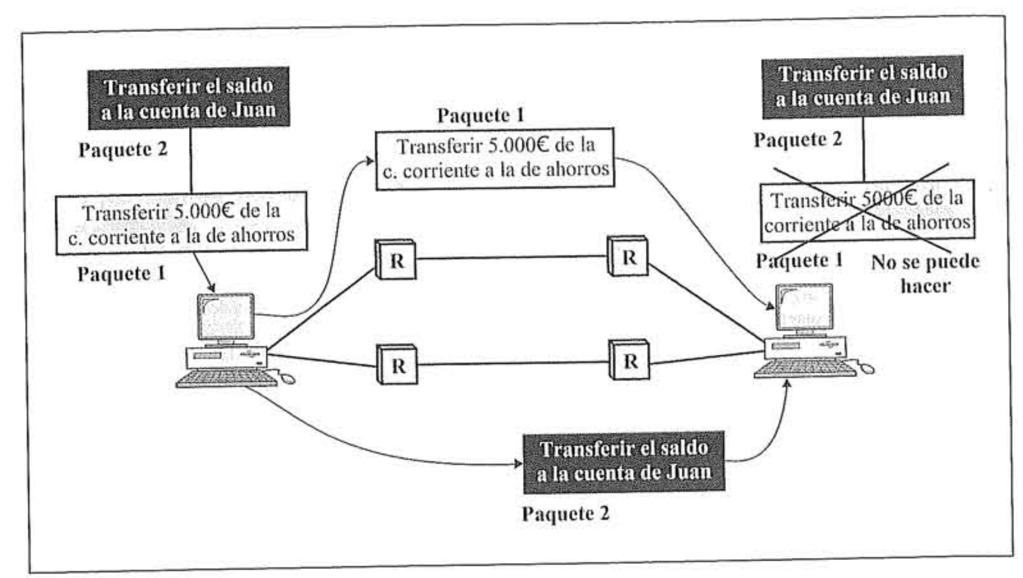


Figura 22.8. *Control de secuencia.*

Imagine una situación en la que un cliente de un banco envía un mensaje al banco para ordenar que primero transfiera 5.000 euros desde una cuenta corriente a una cuenta de ahorros y luego transfiera el saldo de la cuenta corriente a la cuenta corriente de otro cliente. Imagine lo que ocurriría si las dos partes del mensaje fueran recibidas fuera de orden (véase la Figura 22.8).

Desde el punto de vista del emisor y del receptor, no es importante en qué orden viajen los distintos trozos de la transmisión. Lo que si es importante es que se reensamblen de forma adecuada en el destino, de igual forma, por ejemplo, que usted no se preocupa de la forma en la que las piezas de su coche llegan a la cadena de montaje, sino que lo que quiere es que estén montadas adecuadamente cuando a usted le entregan el coche.

Control de pérdidas

El tercer aspecto de la fiabilidad cubierto por el nivel de transporte es el **control de pérdidas.** El nivel de transporte se asegura de que todos los trozos de una transmisión lleguen a su destino, no sólo unos cuantos. Cuando los datos han sido segmentados para la entrega, algunos segmentos pueden perderse durante el tránsito (véase la Figura 22.9). Los números de secuencia permiten al protocolo de nivel de transporte del receptor identificar cualquier segmento perdido y solicitar que sea reenviado.

Control de duplicados

El cuarto aspecto de la fiabilidad cubierto por el nivel de transporte es el **control de duplicados.** Las funciones del nivel de transporte deben garantizar que ningún segmento de datos llegue al sistema receptor duplicado. Al igual que permiten identificar los paquetes perdidos, los números de secuencia también permiten al receptor identificar y descartar los segmentos duplicados.

La duplicación puede parecer un problema trivial, pero puede tener importantes consecuencias. Imagine que el cliente del banco envía un mensaje indicando al banco que transfiera 5.000 euros desde su cuenta a la cuenta de Juan. ¿Qué ocurre si se duplica este mensaje? Véase la Figura 22.10.

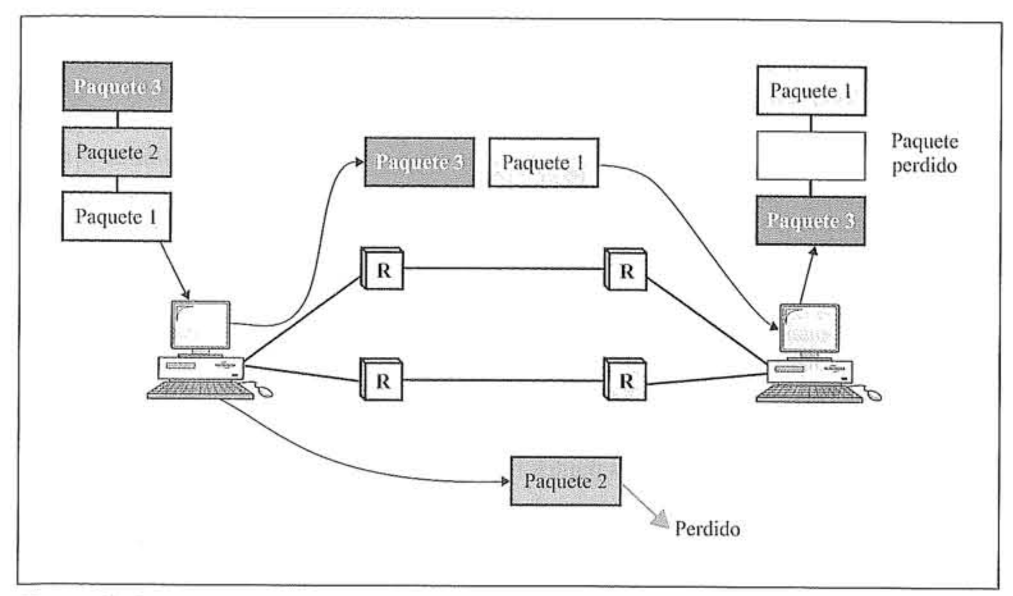


Figura 22.9. *Control de pérdidas.*

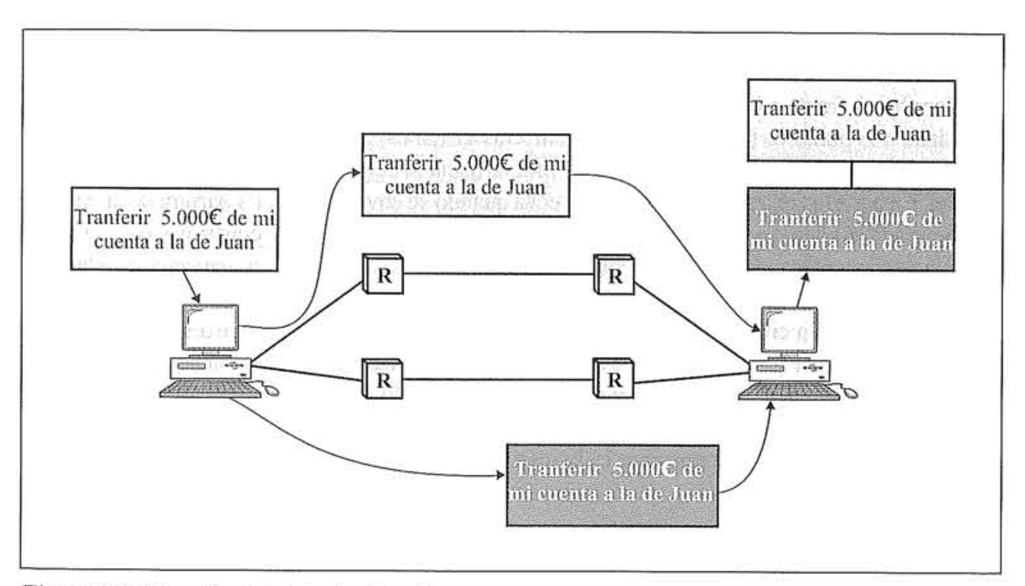


Figura 22.10. *Control de la duplicación.*

Control de flujo

Al igual que el nivel de enlace de datos, el nivel de transporte es responsable del control de flujo. Sin embargo, el control de flujo en este nivel se realiza extremo a extremo en lugar de enlace a enlace. El control de flujo en el nivel de transporte también utiliza un protocolo de ventana deslizante. Sin embargo, la ventana en el nivel de transporte puede variar en tamaño según la ocupación del búffer.

Con una ventana de tamaño variable, la cantidad de datos real que la ventana puede almacenar es negociable. En la mayoría de los casos, el control del tamaño de la ventana es competencia del receptor. El receptor, en su paquete de confirmación, puede especificar que el tamaño de la ventana sea incrementado (o disminuido, pero la mayoría de los protocolos no permiten disminuir el tamaño). En la mayoría de los casos, las ventanas deslizantes en el nivel de transporte se basan en el número de bytes que el receptor puede almacenar en lugar del número de tramas. Un par de entidades que se comunican utilizan un buffer de x bytes que puede almacenar y tramas.

> Se utiliza una ventana deslizante para hacer que la transmisión de los datos sea más eficiente, así como para controlar el flujo de datos de forma que el receptor no se sature. Las ventanas deslizantes utilizadas en el nivel de transporte están normalmente orientadas a byte en lugar de a tramas.

A continuación se citan algunos puntos relacionados con las ventanas deslizantes en el nivel de transporte:

- El emisor no tiene que enviar todos los datos de la ventana completa.
- Una confirmación puede expandir el tamaño de la ventana de acuerdo al número de secuencia del segmento de datos confirmado.
- El tamaño de la ventana puede ser incrementado o disminuido por el receptor.
- El receptor puede enviar una confirmación en cualquier instante.

Para hacer frente a la variabilidad en tamaños, las ventanas deslizantes del nivel de transporte utilizan tres punteros (que actúan como barreras virtuales) para identificar el buffer (véase la Figura 22.11). La barrera de la izquierda se mueve hacia la derecha cuando se recibe una confirmación. La barrera central se mueve a la derecha cuando se envían datos. La barrera de la derecha se mueve a la izquierda para fijar el tamaño de la ventana. Si se recibe una confirmación y el tamaño de la ventana no cambia, esta tercera barrera se mueve a la derecha para mantener constante el tamaño de la ventana (debido a que la barrera de la izquierda se ha movido a la derecha). Por ejemplo, si se confirman cinco bytes y el tamaño de la ventana no cambia, entonces la barrera de la izquierda se mueve a la derecha cinco bytes, reduciendo la ventana, por lo que la barrera de la derecha debe moverse a la derecha cinco bytes para que el tamaño de la ventana permanezca constante. Si se confirman 5 bytes pero el receptor también incrementa el tamaño de la ventana en 10 bytes, la barrera de la derecha debe moverse 15 bytes a la derecha para alojar el nuevo tamaño.

Multiplexación

Para mejorar la eficiencia de la transmisión, el nivel de transporte tiene la opción de multiplexar. La multiplexación en este nivel se lleva a cabo de dos formas: hacia arriba, lo que significa que varias conexiones del nivel de transporte utilizan la misma conexión de red, o hacia abajo, lo que significa que una conexión de nivel de transporte utiliza varias conexiones de red (véase la Figura 22.12).

Multiplexación hacia arriba

El nivel de transporte utiliza circuitos virtuales basados en los servicios de los tres niveles inferiores. Normalmente, las redes subyacentes cobran por cada conexión de un circuito vir-

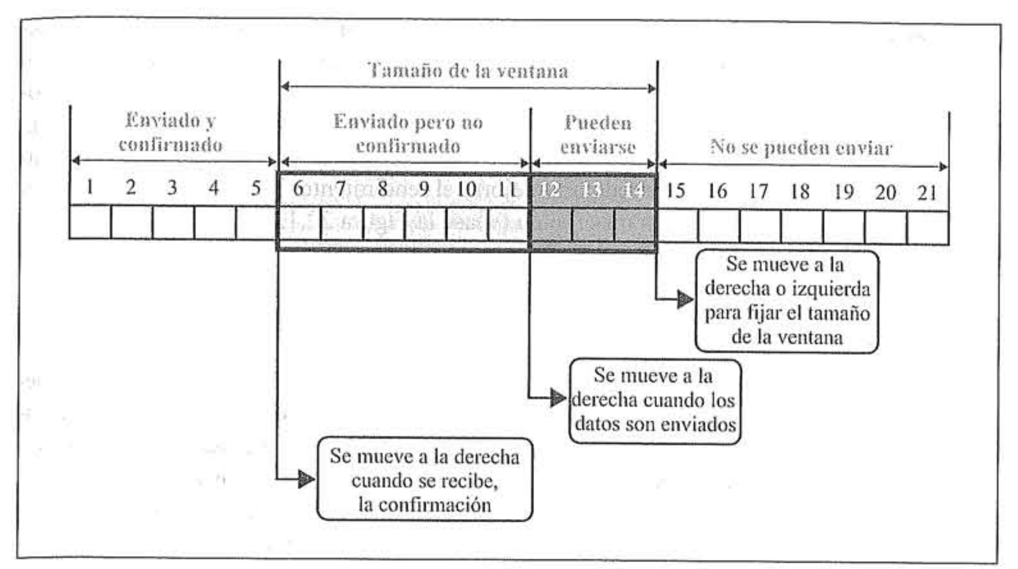


Figura 22.11. *Ventana deslizante.*

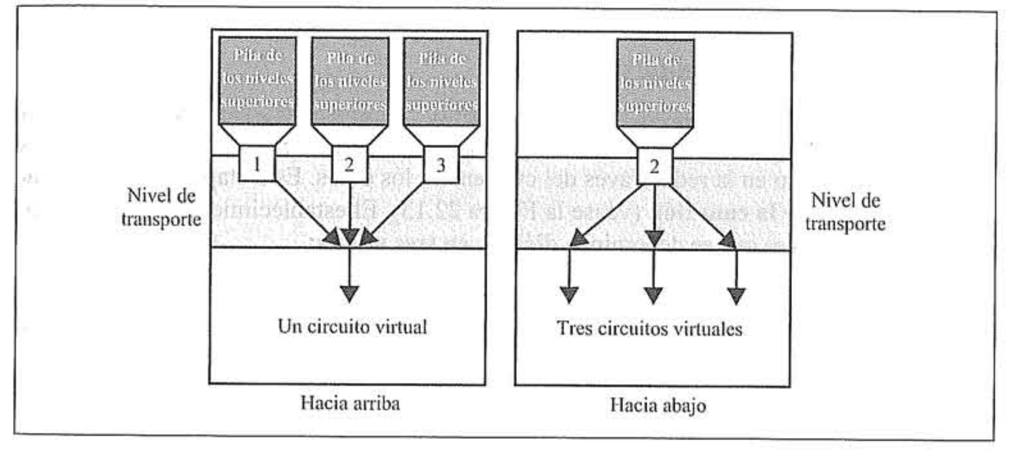


Figura 22.12. *Multiplexación.*

tual. Para hacer más efectivo el coste del establecimiento de un circuito, el nivel de transporte puede enviar varias transmisiones para un mismo destino por el mismo camino utilizando **multiplexación hacia arriba.** Esto significa que si el protocolo de red subyacente tiene unas altas prestaciones, por ejemplo en el rango de 1 Gps, y el usuario puede crear datos sólo en el rango de los Mbps, varios usuarios pueden compartir una conexión de red.

Multiplexación hacia abajo

La **multiplexación hacia abajo** permite al nivel de transporte separar una única conexión entre varios caminos diferentes para mejorar el rendimiento (velocidad de la entrega). Esta opción es útil cuando la red subyacente es lenta o tiene una baja capacidad. Por ejemplo, algu-

nos protocolos de nivel de red tienen restricciones sobre los números de secuencia que pueden ser manejados. X.25 utiliza un código de numeración de tres bits, por lo que los números de secuencia están restringidos en el rango de 0 a 7 (sólo ocho paquetes pueden ser enviados antes de que se requiera una confirmación). En este caso, el rendimiento puede ser inaceptablemente bajo. Para resolver este problema, el nivel de transporte puede optar por utilizar más de un circuito virtual del nivel de red para mejorar el rendimiento. Enviando varios segmentos de datos a la vez, la entrega es más rápida (véase la Figura 22.12).

22.2. CONEXIÓN

La entrega extremo a extremo puede llevarse a cabo de dos formas: con conexión o sin conexión. De estos dos, el modo orientado a conexión es el más utilizado. Un protocolo orientado a conexión establece un circuito virtual o camino a través de la internet entre el emisor y el receptor. Todos los paquetes que pertenecen a un mismo mensaje son enviados por este mismo camino. El empleo de un único camino para el mensaje entero facilita el proceso de confirmación y retransmisión de tramas perdidas o dañadas. Los **servicios orientados a conexión,** por tanto, se consideran generalmente como fiables.

La **transmisión orientada a conexión** consta de tres pasos: establecimiento de la conexión, transferencia de datos y terminación de la conexión.

Establecimiento de la conexión

Antes de que un dispositivo pueda enviar datos a otro, el dispositivo que inicia la transmisión debe determinar en primer lugar la disponibilidad del otro para intercambiar los datos y debe encontrar un camino en la red a través del cual enviar los datos. Esta etapa se conoce como **establecimiento de la conexión** (véase la Figura 22.13). El establecimiento de la conexión requiere tres acciones que se denominan **diálogo en tres partes:**

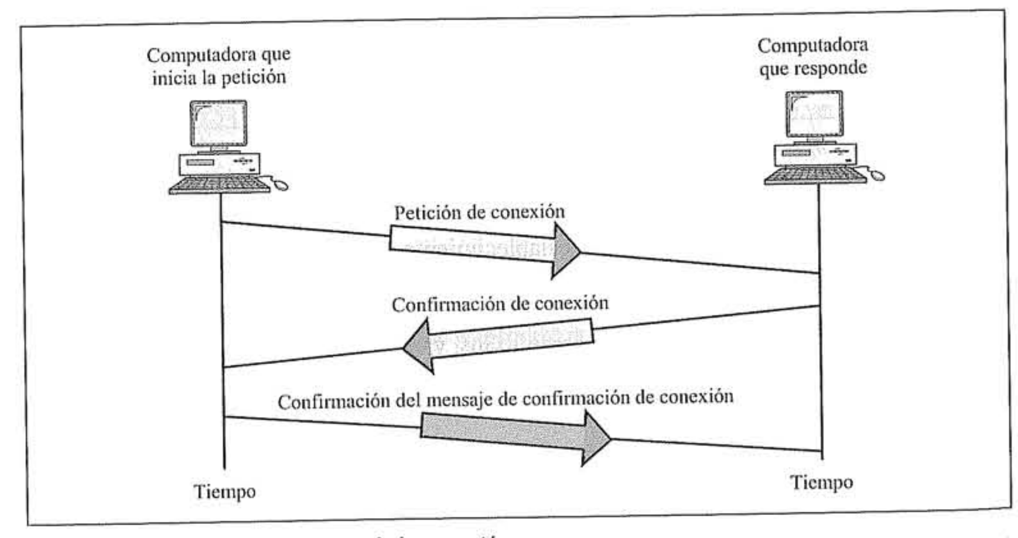


Figura 22.13. *Establecimiento de la conexión.*

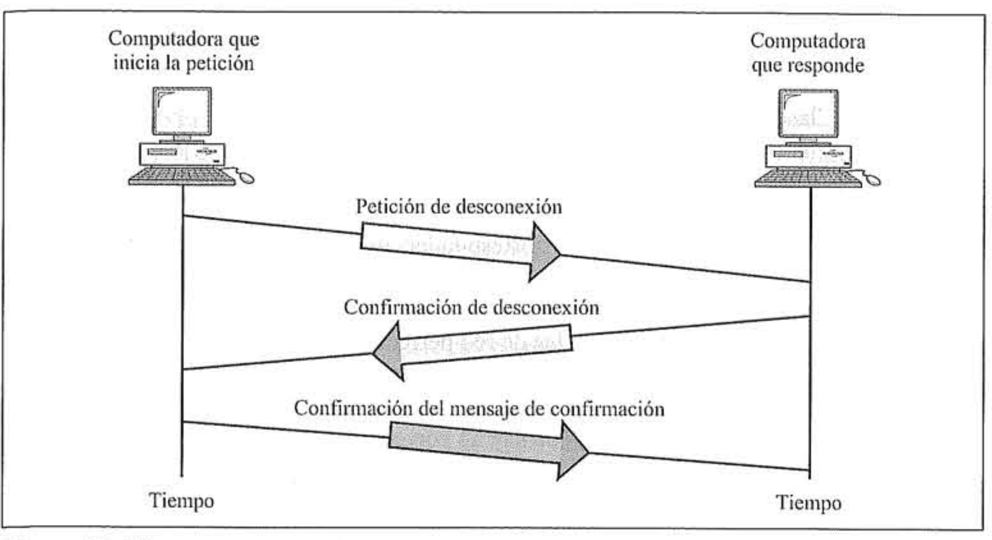


Figura 22.14. *Terminación de la conexión.*

- La computadora que solicita la conexión envía un paquete de **petición de conexión** al receptor.
- La computadora receptora devuelve un paquete de confirmación a la computadora que realiza la solicitud.
- La computadora que realiza la solicitud devuelve un paquete para confirmar la confirmación.

Terminación de la conexión

Una vez que todos los datos han sido transferidos, la conexión debe ser terminada (véase la Figura 22.14).

La **terminación de la conexión** también requiere un diálogo en tres partes:

- La computadora solicitante envía un paquete de desconexión.
- La computadora receptora confirma el paquete de desconexión.
- La computadora solicitante confirma el paquete de confirmación.

22.3. EL PROTOCOLO DE TRANSPORTE DEL MODELO OSI

Como ejemplo, se va a examinar el nivel de transporte del modelo OSI.

Clases de transporte

Para evitar servicios redundantes, el modelo OSI define cinco tipos de **clases de transporte:**

- **TP0.** Clase simple
- **TP1.** Clase con recuperación básica de errores
- **TP2.** Clase con multiplexación
- **TP3.** Clase con multiplexación y recuperación de errores.
- **TP4.** Clase con detección y recuperación de errores.

La clase utilizada depende del tipo de servicio requerido por los niveles superiores. El nivel de transporte intenta establecer una correspondencia entre las peticiones y los servicios de red disponibles.

- TP0 y TP1 se utilizan con niveles de red perfectos. Un nivel de red perfecto es uno en el que el número de paquetes que se han perdido o dañado es casi cero.
- TP1 y TP3 se utilizan en niveles de red con errores residuales. Un nivel de red con errores residuales es uno en el que hay un porcentaje de errores que nunca son corregidos.
- TP4 se utiliza en niveles de red no fiables. TP4 ofrece fiabilidad total, full-dúplex y servicios orientados a conexión similares a los que ofrece TCP en TCP/IP.

Unidad de datos del protocolo de transporte (TPDU)

El formato de una **unidad de datos del protocolo de transporte (TPDU)** se muestra en la Figura 22.15: Cada TPDU consta de cuatro campos generales: longitud, parámetros fijos, parámetros variables y datos.

Longitud El campo longitud ocupa el primer byte e indica el número total de bytes (excluyendo el campo de longitud) de la TPDU.

Parámetros fijos El campo con los parámetros fijos contiene parámetros, o campos de control que normalmente están presentes en todos los paquetes del nivel de transporte. Consta de cinco partes: código, referencia origen, referencia destino, número de secuencia y asignación de crédito.

- **Código.** El código identifica el tipo de unidad de datos; por ejemplo, CR para la petición de conexión o DT para los datos. A continuación se indican los códigos reconocidos por ISO y la ITU-T:
  CR: petición de conexión
  CC: confirmación de conexión
  DR: petición de desconexión
  DC: Confirmación de desconexión
  DT: Datos
  ED: Datos urgentes

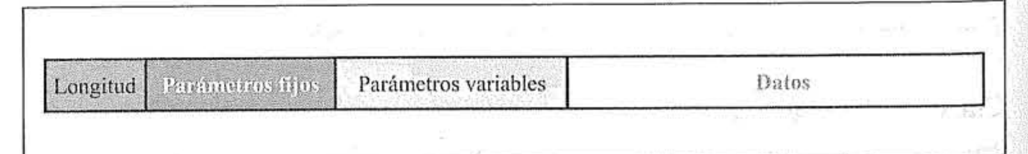


Figura 22.15. *TPDU.*

  AK: Confirmación de datos
  EA: Confirmación de datos urgentes
  RJ: Rechazo
  ER: Error
- **Referencia destino y fuente.** Los campos referencia destino y fuente contienen la dirección del emisor y del destino del paquete.
- **Número de secuencia.** Cuando una transmisión se divide en paquetes más pequeños para su transporte, a cada segmento se le asigna un número que identifica su lugar dentro de la secuencia. Los números de secuencia se utilizan para confirmación, control de flujo y reordenación de paquetes en el destino.
- **Asignación de créditos.** Este campo permite a una estación receptora indicar al emisor cuántas unidades de datos pueden ser enviadas antes de que el emisor deba esperar una confirmación. Permite al receptor suplantar a la ventana deslizante existente o a las restricciones de control de flujo y cambiar la asignación en cualquier momento de acuerdo a sus necesidades de procesamiento. La asignación de créditos separa el control de flujo de las confirmaciones y significa que el emisor y el receptor no necesitan tener el mismo tamaño de ventana deslizante. Por ejemplo, una estación remota puede devolver 3 AK y 7 créditos. La combinación indica al emisor que todas las unidades hasta la 2 han sido recibidas con éxito, que la siguiente unidad esperada es la 3 y que se pueden enviar siete unidades más antes de que el emisor deba esperar otra confirmación.

Parámetros variables La sección de parámetros variables de una TPDU contiene parámetros que no ocurren frecuentemente. Estos códigos de control se utilizan en su mayor parte para gestión (por ejemplo, probar la fiabilidad de un encaminador).

Datos La sección de datos de una TPDU puede contener datos normales o datos urgentes que vienen de los niveles superiores. Los datos urgentes constan de un mensaje de alta prioridad que debe ser tratado fuera de secuencia. Una petición urgente (como una orden de interrupción a un inicio de sesión remoto) puede saltarse la cola de entrada en el receptor y ser procesada antes que los paquetes que ya han sido recibidos antes.

Servicios orientados a conexión y servicios no orientados a conexión

El modelo OSI soporta servicios de transporte orientados a conexión y no orientados a conexión. De estos dos, el modo orientado a conexión es el más normalmente utilizado.

Servicios de transporte orientados a conexión

Los **servicios de transporte orientados a conexión (COTS**, *Connection-oriented transport services*) crean en primer lugar un circuito virtual entre dos entidades remotas. Para ello, los servicios de transporte orientados a conexión ofrecen cuatro tipos disponibles a los niveles superiores: T-CONNECT, T-DATA, T-EXPEDITED-DATA y T-DISCONNECT (donde T significa transferencia). Las relación entre estos servicios y los niveles superiores e inferiores del modelo OSI se ilustran en la Figura 22.16.

El usuario de nivel superior de COTS utiliza en primer lugar el servicio T-CONNECT para establecer una conexión de transporte full-dúplex con la función paritaria en el disposi-

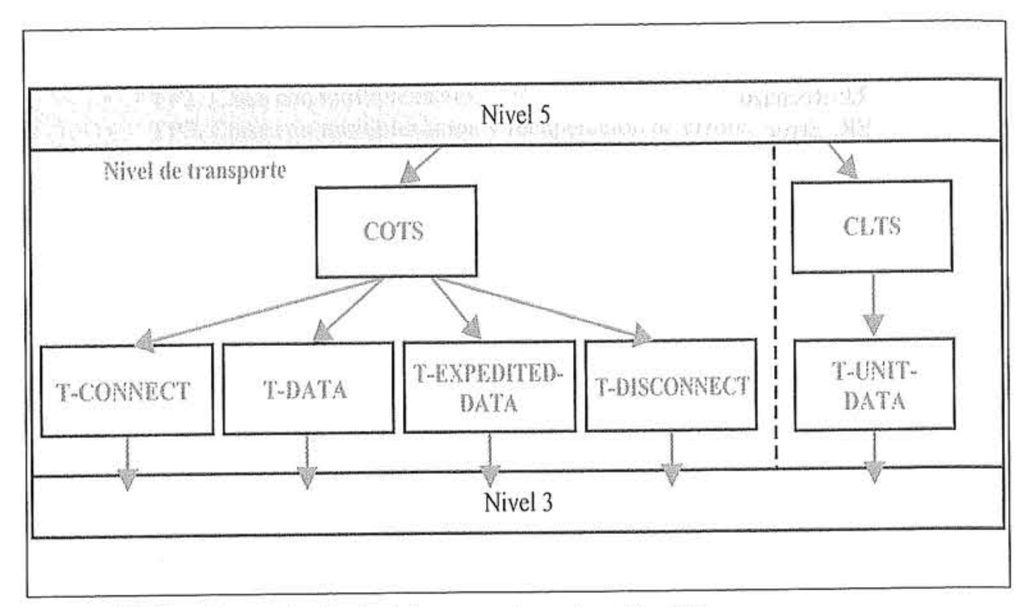


Figura 22.16. *Protocolos de nivel de transporte en el modelo OSI.*

tivo remoto. Durante el establecimiento de la conexión de transporte, los usuarios pueden negociar la **calidad de servicio (QoS)** deseada y decidir entre modo de transferencia de datos normales o urgentes.

Una vez establecida la conexión, las dos entidades paritarias pueden transferir datos utilizando los servicios T-DATA o T-EXPEDITED-DATA. T-DATA ofrece servicios sin confirmación pero fiables. Los paquetes entregados con éxito no son confirmados. Si ocurre un fallo, sin embargo, el proveedor del servicio de transporte notifica al emisor del fallo para que realice las correcciones oportunas. La cantidad de datos de usuario que se pueden transportar en una TDPU de tipo T-DATA está restringida al tamaño negociado por las dos partes durante el intercambio.

Si se utiliza el servicio T-EXPEDITED-DATA, la cantidad de datos urgentes que pueden transportarse está limitada (por acuerdo común) a 16 octetos (bytes).

Cada uno de los usuarios del proveedor del servicio de transporte pueden emplear el servicio T-DISCONNECT para finalizar la conexión de transporte en cualquier momento. El servicio T-DISCONNECT es destructivo. Cualquier dato en tránsito cuando se invocó el servicio puede perderse. T-DISCONNECT también puede ser utilizado por el proveedor del servicio de transporte o por el usuario al que se llama para rechazar una petición de confirmación.

Servicio de transporte no orientados a conexión

Los **servicios de transporte no orientados a conexión (CLTS**, *Connectionless Transport Services*) ofrecen sólo un tipo de servicio a los niveles superiores: T-UNIT-DATA.

El servicio T-UNIT-DATA ofrece una única unidad de datos independiente para todas las transmisiones. Cada unidad contiene toda la información de control del protocolo necesaria para la entrega pero no ofrece control de flujo ni entrega en secuencia.

22.4. TÉRMINOS Y CONCEPTOS CLAVE

concatenación
establecimiento de la conexión
servicio orientado a conexión
transmisión orientada a conexión
servicio de transporte orientado a conexión (COTS)
petición de conexión
terminación de conexión
servicio de transporte no orientado a conexión (CLTS)
asignación de créditos
multiplexación hacia abajo
control de duplicados
entrega de mensajes extremo a extremo
control de errores
control de pérdidas
calidad de servicio (QoS)
entrega fiable
segmentación
control de secuencia
número de secuencia
punto de acceso a servicio
entrega origen a destino
diálogo en tres fases
clase de transporte
nivel de transporte
unidad de datos del protocolo de transporte (TPDU)
multiplexación hacia arriba

22.5. RESUMEN

- El nivel de transporte, al ocultar todas las manipulaciones necesarias para transferir un mensaje desde un origen a un destino, hace que la transmisión de datos sea transparente a los niveles superiores.
- El nivel de transporte y el de enlace de datos realizan funciones muy similares. El nivel de enlace de datos funciona en una única red, mientras que el nivel de transporte opera a través de una internet.
- El nivel de transporte necesita puertos o puntos de acceso al servicio.
- La entrega fiable requiere control de errores, control de secuencia, control de pérdidas y control de duplicación.
- La multiplexación en el nivel de transporte puede ser hacia arriba o hacia abajo.
- El establecimiento de la conexión y la terminación se realizan mediante un diálogo en tres fases.
- El nivel de transporte es responsable de la entrega extremo a extremo, de la segmentación y de la concatenación.
- El nivel de transporte soporta dos tipos de servicios:
  a. Servicios de transporte orientados a conexión (COTS)
  b. Servicios de transporte no orientados a conexión (CLTS).
- El formato de la unidad de datos del protocolo de transporte (TPDU) consta de cuatro campos:
  a. Longitud.

b. Parámetros fijos.
c. Parámetros variables.
d. Datos.

- Los cinco tipos de clases de transporte se basan en la fiabilidad de los niveles inferiores. La clase TP4 es similar a TCP en el protocolo TCP/IP.

22.6. MATERIAL PRÁCTICO

Preguntas de revisión

1. ¿Muchos de los aspectos tratados en el nivel de transporte (por ejemplo, el control de flujo y la entrega fiable) también lo son en el nivel de enlace de datos. ¿Es un esfuerzo esta duplicación? ¿Por qué sí o por qué no?
2. Compare el protocolo de ventana deslizante del nivel de enlace de datos con el utilizado en el nivel de transporte.
3. ¿Cuáles son las fases a través de las cuales pasa un servicio de transporte orientado a conexión?
4. ¿Cuáles son los dos servicios de transporte definidos por el modelo OSI?
5. Analice la relación entre el nivel de transporte y los niveles superiores del modelo OSI.
6. Analice la relación entre el nivel de transporte y los niveles inferiores del modelo OSI.
7. ¿Cuáles son las cinco principales categorías de servicios de nivel de transporte?
8. ¿Cuál es la diferencia entre la entrega extremo a extremo en el nivel de transporte y la entrega extremo a extremo en el nivel de red?
9. ¿Por qué es necesario un punto de acceso a servicio?
10. ¿Cuáles son los factores que determinan la fiabilidad de una entrega?
11. ¿Por qué se necesita un control de secuencia?
12. ¿Cuándo se utiliza la multiplexación hacia arriba?
13. ¿Cuándo se utiliza la multiplexación hacia abajo?
14. ¿Cuáles son las cinco clases de transporte definidas por el modelo OSI?
15. ¿Cuáles son los campos de una TPDU?
16. Defina el concepto de asignación de crédito en la PDTU.

Preguntas con respuesta múltiple

17. El nivel de transporte realiza las mismas funciones que el nivel de _____.
   a. sesión
   b. red
   c. enlace de datos
   d. físico
18. La entrega extremo a extremo es la transferencia de una mensaje desde _____.
   a. una estación a la siguiente estación
   b. una red a la siguiente red
   c. el origen al destino
   d. ninguna de las anteriores
19. ¿Qué tipo de direccionamiento es específicamente utilizado por el nivel de transporte?
   a. dirección de la estación
   b. dirección de la red

   c. dirección del puerto del programa de aplicación
   d. dirección de diálogo
20. El control de errores es necesario para el nivel de transporte debido a los posibles errores que ocurren _____.
   a. por el ruido de la línea en la transmisión
   b. en los encaminadores
   c. en la entrega fuera de secuencia
   d. debido a los paquetes perdidos
21. Asegurar que los segmentos de datos llegan en el orden correcto es control de _____.
   a. errores
   b. secuencia
   c. pérdidas
   d. duplicación
22. Asegurar que todos los paquetes de datos de un mensaje son entregados al destino es control de _____.
   a. errores
   b. secuencia
   c. pérdidas
   d. duplicación
23. Si dos paquetes de datos idénticos llegan a un destino, entonces el control de _____ no está funcionando.
   a. errores
   b. secuencia
   c. pérdidas
   d. duplicación
24. ¿Qué clase de transporte debería utilizarse en un nivel de red perfecto?
   a. TP0 y TP2
   b. TP1 y TP3
   c. TP0, TP1 y TP3
   d. TP0, TP1, TP2, TP3 y TP4
25. ¿Qué clase de transporte debería ser utilizada en un nivel de red con errores residuales?
   a. TP0 y TP2
   b. TP1 y TP3
   c. TP0, TP1 y TP3
   d. TP0, TP1, TP2, TP3 y TP4
26. En servicios _____, las conexiones deben ser establecidas y terminadas.
   a. sin conexión
   b. orientados a conexión
   c. de segmentación
   d. ninguna de las anteriores
27. En servicios _____, no se necesita establecimiento de la conexión.
   a. sin conexión
   b. orientados a conexión
   c. de segmentación
   d. ninguna de las anteriores
28. En el nivel de transporte, _____ es un servicio no orientado a conexión.
   a. CONS

b. CLNS
c. COTS
d. CLTS

29. Un circuito virtual se asocia con un servicio ______.
a. sin conexión
b. orientado a conexión
c. de segmentación
d. ninguna de las anteriores

30. En servicios ______, los paquetes de una misma transmisión viajan desde el origen al destino mediante caminos diferentes.
a. sin conexión
b. orientados a conexión
c. de segmentación
d. ninguna de las anteriores

Ejercicios

31. El borde derecho de una ventana deslizante se encuentra al comienzo del byte 1.201. El tamaño de la ventana es de 2.000 bytes. Si se han enviado 800 bytes y no se ha recibido confirmación, muestre las posiciones de las tres barreras (véase la Figura 22.17).
32. En la Figura 22.17, si se envían 800 bytes, se confirma el byte 1.701 y el tamaño de la ventana se incrementa en 2.200, ¿cuál debería la posición de las barreras?
33. En la Figura 22.17, si se enviaron 700 bytes, se confirmó el byte 1.601 y el tamaño de la ventana se reduce a 800, ¿cuál debería ser la posición de las barreras?
34. En la Figura 22.17, si se enviaron 2.000 bytes y no se ha recibido confirmación, ¿cuál debería ser la posición de las barreras?
35. En la Figura 22.17, ¿cuándo se solaparán las barreras izquierda y central?
36. En la Figura 22.17, ¿cuándo se solaparán las barreras derecha y central?
37. En la Figura 22.17, ¿cuándo se solaparán las tres barreras?

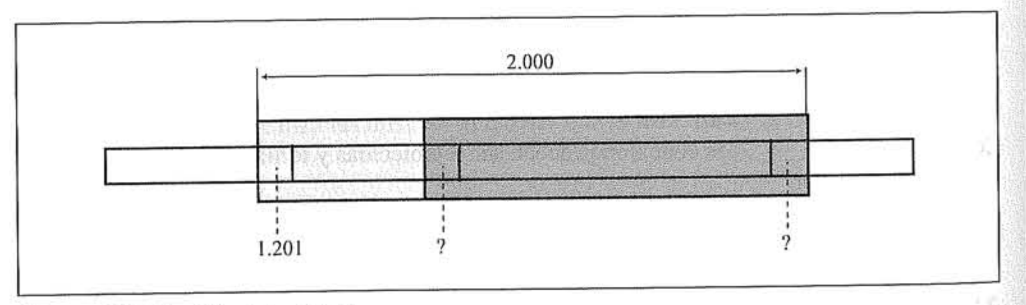


Figura 22.17. *Ejercicios 31-37.*

CAPÍTULO 23

Niveles superiores del modelo OSI

Los niveles superiores del modelo OSI –nivel de sesión, de representación y de aplicación– son considerados como niveles de usuario. Se implementan fundamentalmente en *software*. En la mayoría de los protocolos (como TCP/IP y Novell), los servicios de estos niveles se implementan por un único nivel denominado **nivel de aplicación.** Por esta razón, se van a cubrir juntos en un capítulo.

23.1. NIVEL DE SESIÓN

El quinto nivel del modelo OSI es el nivel de sesión. El nivel de sesión establece, mantiene y sincroniza el **diálogo** entre los niveles superiores que se comunican (la comunicación puede realizarse entre usuarios o aplicaciones). El nivel de sesión también gestiona los problemas de nivel de usuario como un inadecuado espacio en disco o la falta de papel en la impresora. Aunque el nivel de sesión se describe como un nivel de usuario, con frecuencia se implementa dentro del sistema operativo como un sistema *software*.

El concepto que hay detrás del nivel de sesión se ilustra en la Figura 23.1. El nivel de sesión gestiona las interacciones en ambos sentidos que se produce en el intercambio. Imagine que necesita un sistema para gestionar las interacciones entre programas de aplicación. Dentro de este sistema, los programas de aplicación de usuario deben ser capaces de comunicarse e intercambiar archivos o transacciones con el resto. ¿Cómo coordinamos las actividades de cada programa de aplicación? ¿Permitimos que cada programa de aplicación transfiera el archivo o la transacción en cualquier instante? ¿Ofrecemos puntos de comparación periódicos para permitir a los programas de aplicación recuperar su trabajo y volver al procesamiento? ¿Debería el proceso ser full-dúplex o semidúplex? Si es semidúplex, ¿cómo controlamos la dirección del flujo? Estos y otros problemas son las responsabilidades del nivel de sesión.

Servicios del nivel de sesión:

- Coordinar la conexión y desconexión de los diálogos entre las aplicaciones.
- Proporcionar puntos de sincronización para el intercambio de datos.
- Coordinar quién envía y cuándo.
- Asegurar que los datos se intercambian de forma completa antes de cerrar la sesión (un cierre gracioso o elegante).

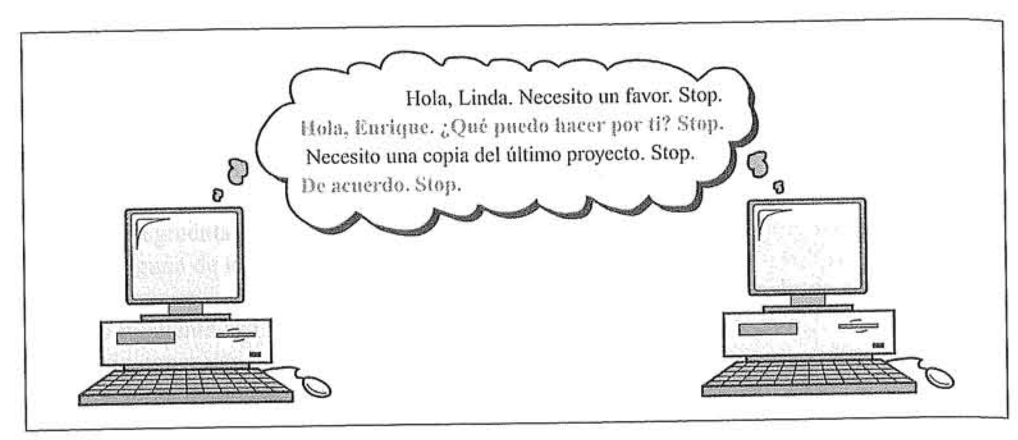


Figura 23.1. *Diálogo en el nivel de sesión.*

Interacción entre el nivel de sesión y el nivel de transporte

El concepto de cierre cortés ilustra una diferencia importante entre el funcionamiento del nivel de transporte y el del nivel de sesión. El nivel de transporte puede realizar una desconexión inesperada. El nivel de sesión, por otro lado, tiene una obligación con el usuario y no puede realizar la desconexión hasta que la sesión se haya llevado a una conclusión elegante.

Imagine que está intentando obtener dinero de un cajero automático en su banco. Usted se encuentra involucrado en una sesión compuesta de diferentes intercambios de información semidúplex. En primer lugar, inserta su tarjeta en el cajero y, en respuesta a la solicitud, introduce su PIN, elige la transacción y la cantidad de dinero que desea. A continuación espera mientras la computadora comprueba la validez de su tarjeta, de su PIN y su saldo. Una vez que todos estos factores han sido verificados, la computadora actualiza su saldo y envía una orden al cajero para que le dé el dinero solicitado.

Suponga que algo va mal y la red y el mensaje para darle el dinero no llega a la máquina. El saldo de su cuenta se habrá reducido pero usted no habrá retirado el dinero. Afortunadamente, el nivel de sesión se ocupa del problema que hay detrás de este escenario. En primer lugar, no permite que la transacción se cierre hasta que todas las etapas se han completado. Debe actualizar la cuenta, pero deja la actualización pendiente hasta que recibe una confirmación del cajero automático de que el dinero ya ha sido entregado. El nivel de transporte acaba después de la entrega del mensaje a la máquina indicando que le dé el dinero. El nivel de sesión no puede terminar hasta que recibe confirmación de que la transacción ha sido realmente completada. Puede continuar la sesión con otra conexión de nivel de transporte.

> El nivel de transporte puede hacer «algo» del trabajo, pero el nivel de sesión debe hacerlo «todo o nada».

Comunicación entre el nivel de sesión y el nivel de transporte

Para que cualquiera de estos servicios pueda trabajar, el nivel de sesión debe comunicarse con el nivel de transporte. La comunicación puede ser de tres tipos: uno a uno, muchos a uno y uno a muchos. La Figura 23.2 ilustra cada uno de estos tipos.

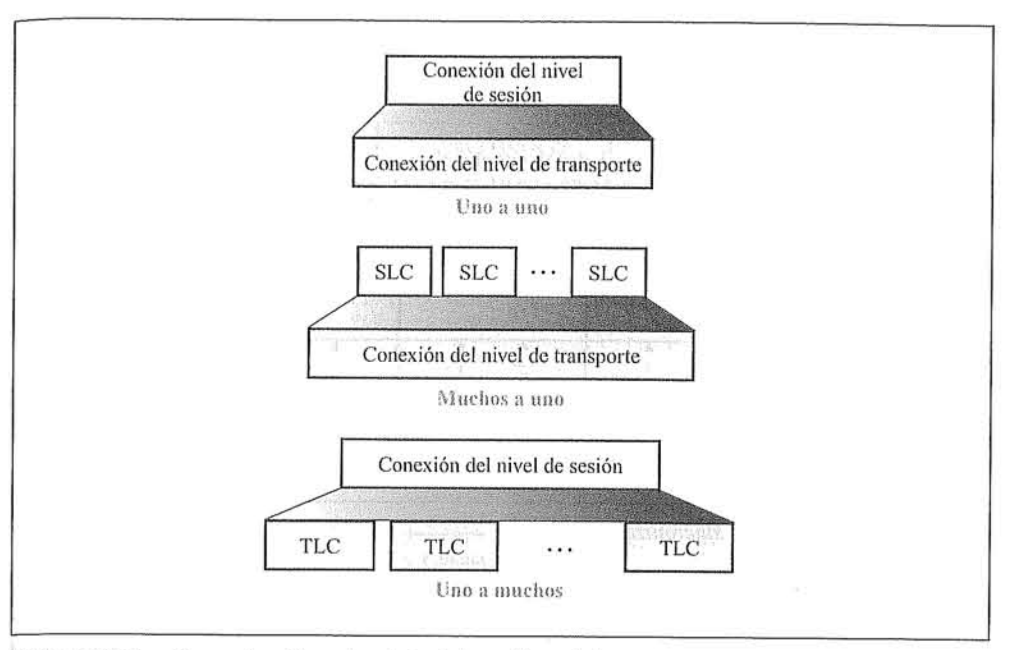


Figura 23.2. *Comunicación entre el nivel de sesión y el de transporte.*

En una comunicación uno a uno, hay una conexión de nivel de sesión por cada conexión de nivel de transporte. En una comunicación muchos a uno, varias conexiones de nivel de sesión comparten los servicios de una conexión de nivel de transporte. En una comunicación uno a muchos, una conexión de nivel de sesión necesita varias conexiones de nivel de transporte para llevar a cabo la tarea.

Puntos de sincronización

Como ya se ha visto, el nivel de transporte es responsable de la entrega de una transmisión con completa fiabilidad. Pero, ¿qué ocurre si se introduce un error después de que la transmisión ha sido entregada al proceso destino pero antes de que pueda ser utilizada (debido quizá a un error en el *software*)? El nivel de sesión ofrece un mecanismo, denominado **puntos de sincronización**, para la recuperación de los datos que han sido entregados pero se han utilizado mal.

Para controlar el flujo de información y permitir la recuperación de errores *software* o del operador, el nivel de sesión permite que se introduzcan puntos de recuperación en los datos. Dependiendo del tipo de servicio que se esté usando, estos puntos pueden solicitar una confirmación al usuario o pueden ofrecer mecanismos hacia-atrás para la recuperación de los datos.

Se pueden utilizar dos tipos de puntos de sincronización: principales y secundarios. **Los puntos de sincronización principal** dividen un intercambio en una serie de diálogos. Generalmente, cada punto de sincronización principal debe ser confirmado antes de que la sesión pueda continuar. Si ocurre un error, los datos pueden ser recuperados sólo hasta el último punto de sincronización principal. Una actividad del nivel de sesión puede ser un único diálogo o varios diálogos separados por puntos de sincronización principales.

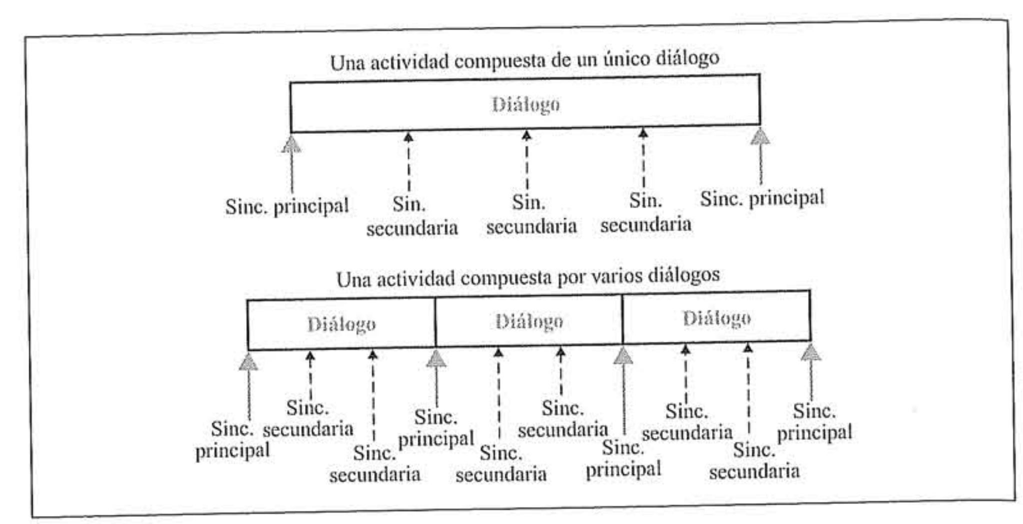


Figura 23.3. *Puntos de sincronización.*

Los **puntos de sincronización secundarios** se insertan en mitad de los diálogos y pueden o no requerir confirmación, dependiendo de la aplicación. Si ocurre un error, el control puede ir hacia atrás uno o más puntos de sincronización secundarios dentro del diálogo para recuperar los datos. La Figura 23.3 muestra los dos tipos de puntos de sincronización.

> Los puntos de sincronización principales deben confirmarse. Si ocurre un error, el control puede ir hacia atrás sólo hasta el último punto de sincronización principal. Los puntos de sincronización secundarios no necesitan ser confirmados; sólo son pólizas de seguridad. Si ocurre un error, el control puede ir hacia atrás uno o más puntos de sincronización secundarios y reenviar los datos.

Imagine que una base de datos de un cliente se está transfiriendo desde una posición a otra. La transferencia dura tres horas. Considere que después de una hora y 20 minutos, ocurre un fallo y se interrumpe la comunicación. Cuando la comunicación se reanuda, el sistema puede ir hacia atrás hasta el último punto de sincronización principal y reenviar los datos a partir de ese punto.

Unidad de datos del protocolo de sesión

El nivel de sesión soporta 36 tipos diferentes de **unidades de datos del protocolo de sesión** (SPDU, *Session Protocol Data Units*). Afortunadamente, todos siguen el mismo formato general (véase la Figura 23.4). A continuación se describen los campos:

- **Identificador de SPDU (SI).** El identificador de SPDU indica el tipo de unidad de datos.
- **Indicador de longitud (LI).** Este indicador muestra la longitud del campo parámetro SPDU.
- **Información de grupo de parámetro/información de parámetro (PGI/PI).** Este campo incluye información de control y especificaciones de calidad de servicio.

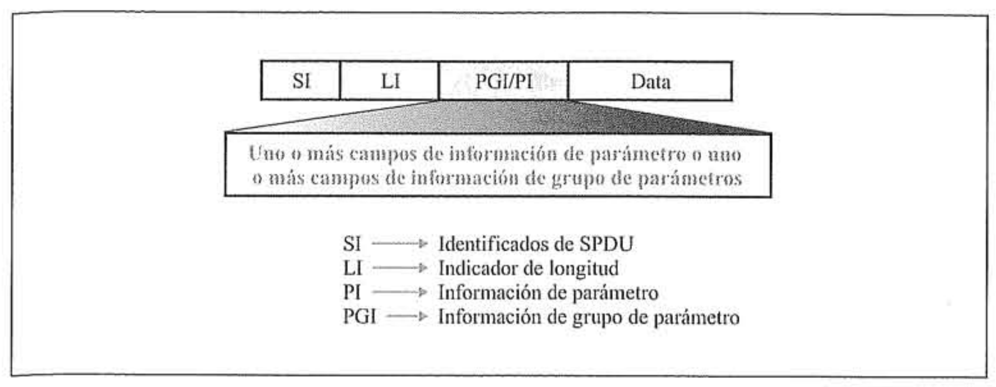


Figura 23.4. *SPDU.*

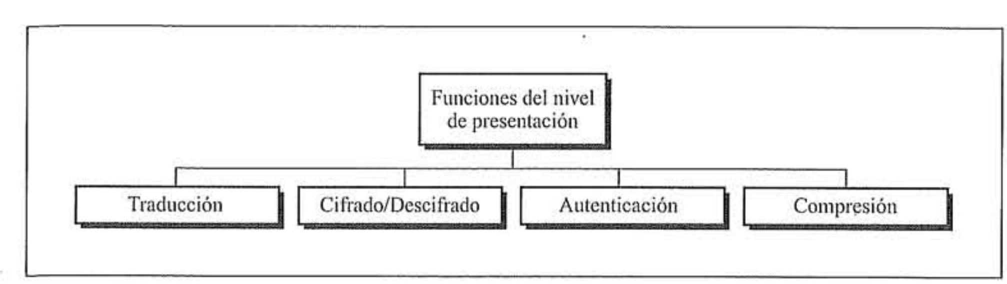


Figura 23.5. *Funciones del nivel de presentación.*

23.2. NIVEL DE PRESENTACIÓN

El sexto nivel del modelo OSI es el nivel de presentación. Las funciones realizadas por este nivel incluyen la traducción, el cifrado/descifrado, la autenticación y la **compresión** (véase la Figura 23.5).

Traducción

La representación interna de segmento de información podría variar enormemente de una máquina a otra. Por ejemplo, una computadora puede almacenar una cadena de caracteres utilizando el código ASCII (véase el Apéndice A), mientras que otra la puede almacenar utilizando el código EBCDIC. Si se envía un trozo de información de una computadora en formato ASCII y se interpreta en otra computadora en EBCDIC, el resultado será ininteligible. El nivel de presentación se encarga de resolver este problema.

El problema puede resolverse directa o indirectamente. En el método de **traducción** directo (considere una transmisión simplex; los casos full-dúplex y semidúplex son casi idénticos), el código ASCII se traduce a código EBCDIC en el receptor. En el método de traducción indirecto, el código ASCII se traduce a un formato estándar en el emisor y se traduce en el receptor a código EBCDIC (véase la Figura 23.6).

El método directo no es aceptable en la mayoría de los casos. Si una computadora se está comunicando con otras, puede necesitar varias tablas de conversión.

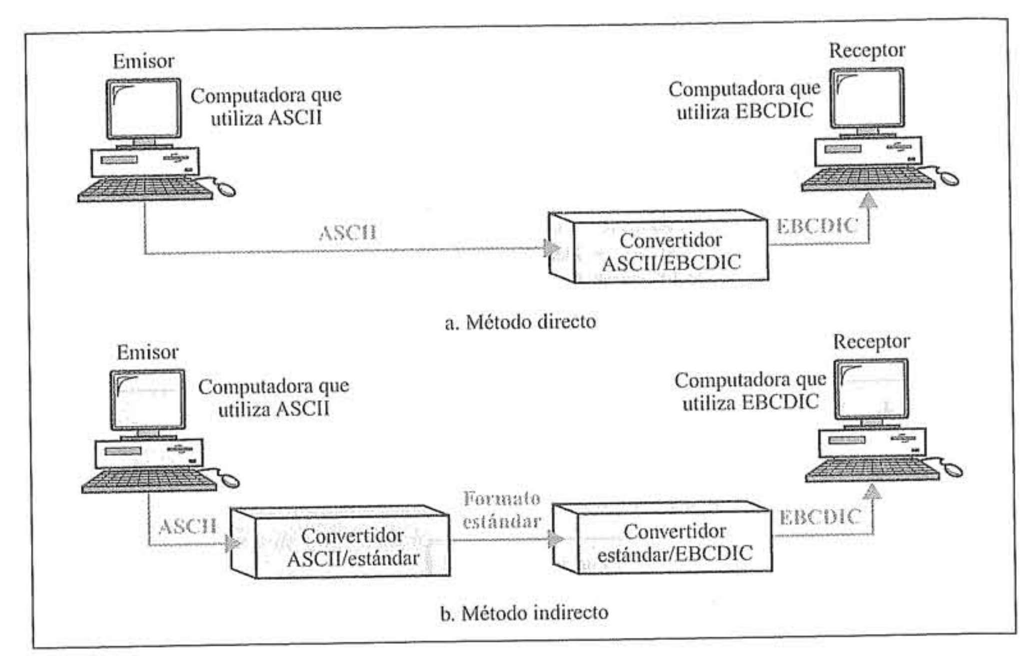


Figura 23.6. *Métodos de traducción directa e indirecta.*

El método indirecto es el recomendado por OSI. El modelo recomendado se denomina **notación de sintaxis abstracta 1 (ASN.1,** *Abstract Syntax Notation* 1). Este modelo no sólo se preocupa del problema de la traducción sino que gestiona otros problemas de formateado, como la naturaleza diversa de los datos (texto, programa, etc.) y la diversidad en el almacenamiento de los datos (una computadora puede almacenar los datos en un formato y otra computadora en otro).

ASN.1 ofrece un mecanismo para definir tipos de datos (como enteros, reales, bits, cadenas de caracteres, etc.) en un formato independiente de la implementación. ASN.1 utiliza el concepto de objetos. Un objeto se define como una entidad de información con tipo y valor que puede fácilmente traducirse de una representación a otra.

Como una analogía, imagine que quiere pedir un vaso de soda en un país cuya lengua no tiene la palabra soda. En lugar de continuar pidiendo soda sin obtener respuesta, usted identifica los elementos físicos del soda y busca las palabras *agua* y *carbonatada* en su diccionario. Soda es un concepto culturalmente específico. El agua carbonatada, sin embargo, es una descripción abstracta que se puede traducir a cualquier lengua. ASN.1 es el equivalente OSI para definir soda por sus elementos componentes, agua y carbonatada.

Cifrado/descifrado

Para transportar información sensible, como datos financieros o militares, el sistema debe ser capaz de asegurar la privacidad. Las microondas, los satélites u otros medios sin cable, sin embargo, no pueden ser protegidos de la recepción no autorizada (o interceptación) de las transmisiones. Incluso los sistemas de cable no pueden siempre evitar los accesos no autorizados. Los cables pasan a través de lugares apartados (como sótanos) y ofrecen oportunidades para el acceso malicioso mediante la recepción ilegal de información.

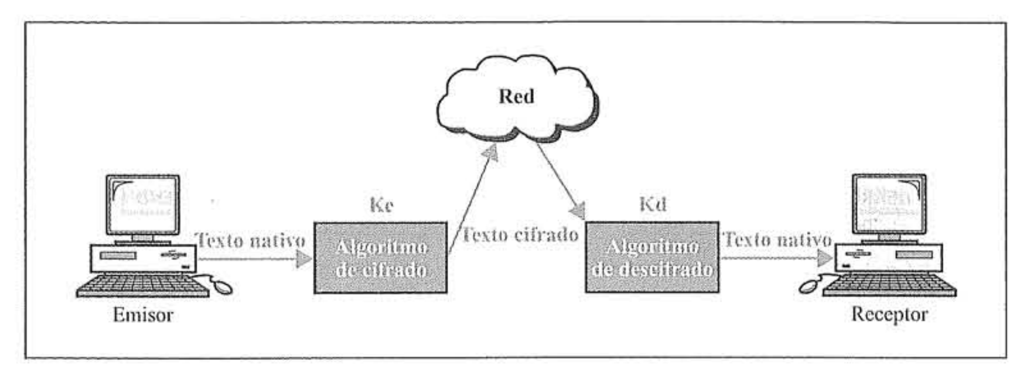


Figura 23.7. *Concepto de cifrado y descifrado.*

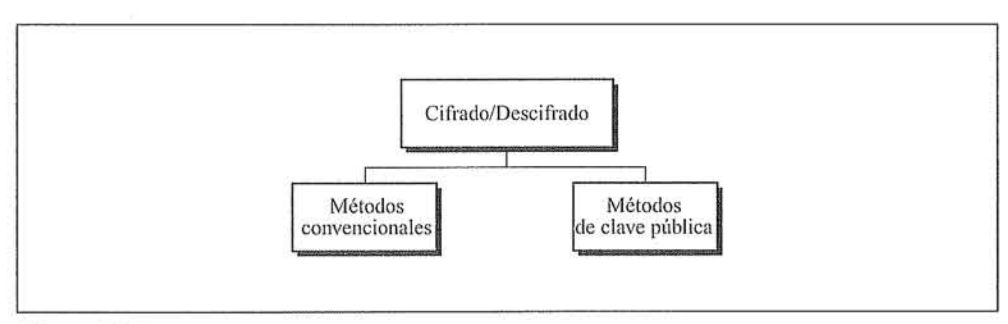


Figura 23.8. *Métodos de cifrado y descifrado.*

Es improbable que un sistema pueda evitar completamente el acceso no autorizado a los medios de transmisión. Una forma más práctica de proteger la información es alterarla para que sólo el receptor autorizado pueda entenderla. Modificar los datos no es nada nuevo, ni es único de la era informática. De hecho, los esfuerzos para hacer la información ilegible a los receptores no autorizados datan de Julio Cesar (100-44 a.C.). El método utilizado hoy en día se denomina cifrado y descifrado de la información. El **cifrado** significa que el emisor transforma la información original en otra forma y envía el mensaje inteligible resultante por la red. El **descifrado** invierte el proceso de cifrado para transformar el mensaje de vuelta a su formato original.

La Figura 23.7 muestra el proceso básico de cifrado y descifrado. El emisor utiliza un algoritmo de cifrado y una clave para transformar un **texto nativo** (como se denomina al mensaje original) en un **texto cifrado** (como se denomina al mensaje cifrado). El receptor utiliza un algoritmo de descifrado y una clave para transformar el texto cifrado en el texto plano original.

Los métodos de cifrado y descifrado se pueden clasificar en: convencionales y de clave pública (véase la Figura 23.8).

Métodos convencionales

En los métodos **de cifrado convencionales,** la clave de cifrado (Ke) y la clave de descifrado (Kd) son la misma y secreta. Los métodos convencionales se pueden dividir en dos categorías: cifrado a nivel de carácter y cifrado a nivel de bit.

Figura 23.9. *Sustitución monoalfabética.*

Cifrado a nivel de carácter En este método, el cifrado se realiza sobre los caracteres. Hay dos métodos generales de cifrado a nivel de carácter: cifrado *por sustitución* y *cifrado por transposición.*

- **Cifrado por sustitución.** La forma más simple de cifrado a nivel de carácter es el cifrado por sustitución. En la *sustitución monoalfabética*, algunas veces denominada Cifra de César, cada carácter es sustituido por otro carácter del conjunto de caracteres. El algoritmo de **cifrado monoalfabético** simplemente añade un número al código ASCII del carácter; el algoritmo de descifrado simplemente resta el mismo número del código ASCII. Ke y Kd son la misma y definen el valor que se suma y se resta. La Figura 23.9 muestra esta idea. El valor de la clave es 3, lo que significa que cada carácter será sustituido por otro carácter que se encuentra tres posiciones más alejado (D es sustituido por G, E es sustituido por K y así sucesivamente). Por simplicidad no se sustituye el carácter que representa el espacio. Si el carácter sustituido se encuentra más allá del último carácter (Z) se vuelve a comenzar por el principio.

La sustitución monoalfabética es muy simple, pero el código puede ser conocido fácilmente por escuchadores. La razón es que el método no puede ocultar las frecuencias naturales de los caracteres en la lengua que se esté usando. Por ejemplo, en inglés, los caracteres más frecuentemente utilizados son E, T, O y A. Un escuchador puede fácilmente romper el código buscando qué carácter es el más utilizado y reemplazándolo por la E. Puede buscar el siguiente más frecuente y reemplazarlo con la T, y así sucesivamente.

En la *sustitución polialfabética*, cada ocurrencia de un carácter puede tener una diferente sustitución. Una técnica de **cifrado polialfabético** es buscar la posición del carácter en el texto y utilizar el valor como la clave. La Figura 23.10 muestra un ejemplo de sustitución polialfabética utilizando el mismo texto plano de la Figura 23.9. Aquí las dos ocurrencias de la palabra «DEAR» se cifran de forma diferente. De esta forma, las frecuencias de los caracteres no se mantienen y es más difícil romper el código. Sin embargo, la sustitución polialfabética no es tampoco muy segura. La razón es que aunque «DEAR DEAR» se sustituye por «EGDV» y «JLIA», el orden en «EGDV» y «JLIA» es el mismo; el código puede romperse fácilmente por un escuchador con más experiencia.

Un ejemplo de sustitución polialfabética es la **cifra de Vignere.** En este método, la clave es una tabla bidimensional (26 × 26), en la que cada fila es una permutación de 26 caracteres (A a Z). Para sustituir un carácter, el algoritmo busca la posición del carácter en el texto, que

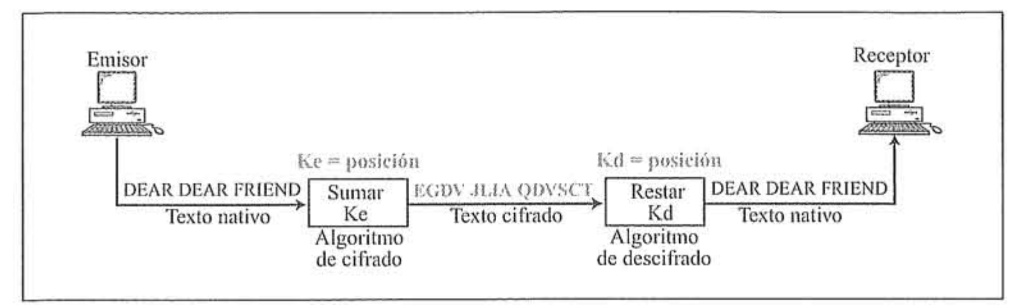


Figura 23.10. *Sustitución polialfabética.*

utiliza como fila, y la posición del carácter en el alfabeto (A es 1, B es 2, y así sucesivamente), que utiliza como columna. El algoritmo reemplaza el carácter con el carácter situado en la tabla en la fila y columna correspondiente.

- **Cifrado por transposición.** Un método incluso más seguro es el **cifrado por transposición,** en el que los caracteres mantienen la forma que tienen en el texto nativo pero cambian sus posiciones para crear el texto cifrado. El texto se organiza en una tabla de dos dimensiones, y las columnas se intercambian de acuerdo a una clave. Por ejemplo, podemos organizar el texto nativo en una tabla de once columnas y reorganizar las columnas de acuerdo a la clave que indica la regla de intercambio. La Figura 23.11 muestra un ejemplo de cifrado por transposición. La clave define qué columnas deberían ser intercambiadas. Como habrá adivinado, el cifrado por transposición no es muy seguro tampoco. Se mantienen las frecuencias de los caracteres y un escuchador puede encontrar el texto nativo mediante intentos sucesivos.

Cifrado a nivel de bit En las técnicas de **cifrado a nivel de bit,** datos como texto, gráficos, sonido o vídeo se dividen en primer lugar en bloques de bits, que luego son alterados mediante codificación/decodificación, permutación, sustitución, OR exclusivo, rotación y otros métodos.

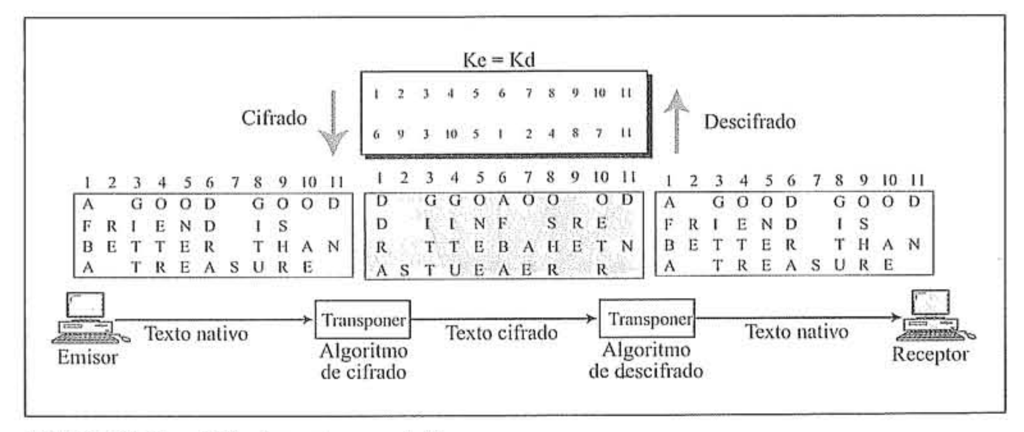


Figura 23.11. *Cifrado por transposición.*

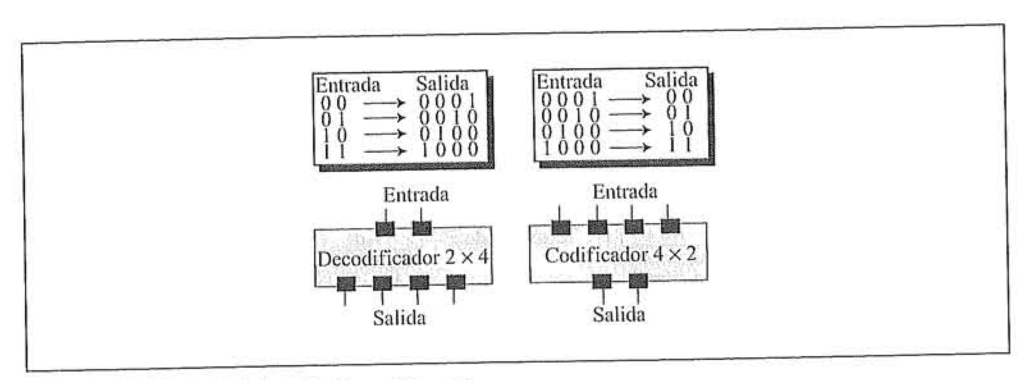


Figura 23.12. *Codificación/decodificación.*

- **Codificación/decodificación.** En la **codificación** y **decodificación,** un decoficador cambia una entrada de n bits por una salida de 2^n bits. La salida debería tener sólo un único1, localizado en la posición determinada por la entrada. Un codificador, por otro lado, tiene 2^n entradas y sólo n salidas. La entrada debería tener un solo 1. La Figura 23.12 muestra un codificador y decodificador de 2 bits.
- **Permutación.** La permutación es una transposición a nivel de bits. En una *permutación directa*, el número de bits de la entrada y salida se mantienen; sólo se cambia la posición. En una **permutación comprimida,** el número de bits es reducido (se pierden algunos bits). En una **conmutación expandida,** el número de bits se incrementa (algunos bits se repiten). Una unidad de permutación puede construirse fácilmente como un circuito *hardware* de tal forma que las operaciones pueden realizarse muy rápidamente. Estas unidades se conocen como **cajas P,** La Figura 23.13 muestra los tres tipos de permutación utilizando **cajas P.**
- **Sustitución.** Una sustitución de n bits por otros n bits se puede realizar utilizando una combinación de cajas P, codificadores y decodificadores. La Figura 23.14 muestra una **caja S** de dos bits que reemplaza cada 00 por 01, 01 por 00, 10 por 11 y 11 por 10. El decodificador cambia los dos bits en cuatro bits. Las cajas P cambian la posición del 1. El decodificador, a continuación, cambia los cuatro bits en un patrón de dos bits.

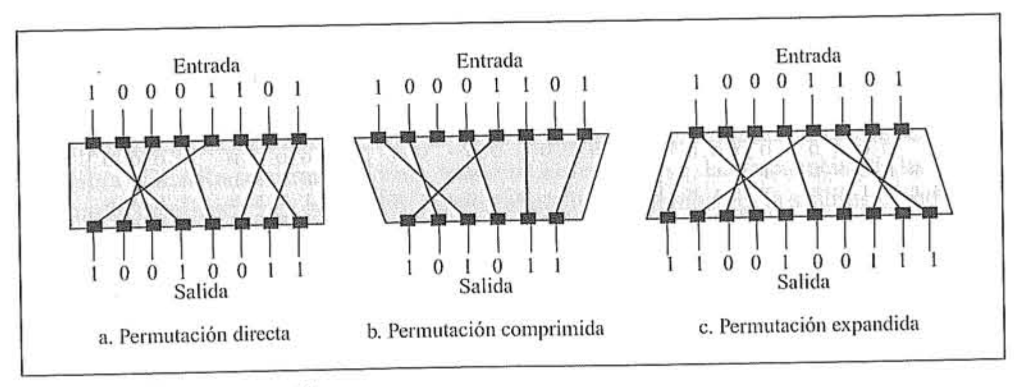


Figura 23.13. *Permutación.*

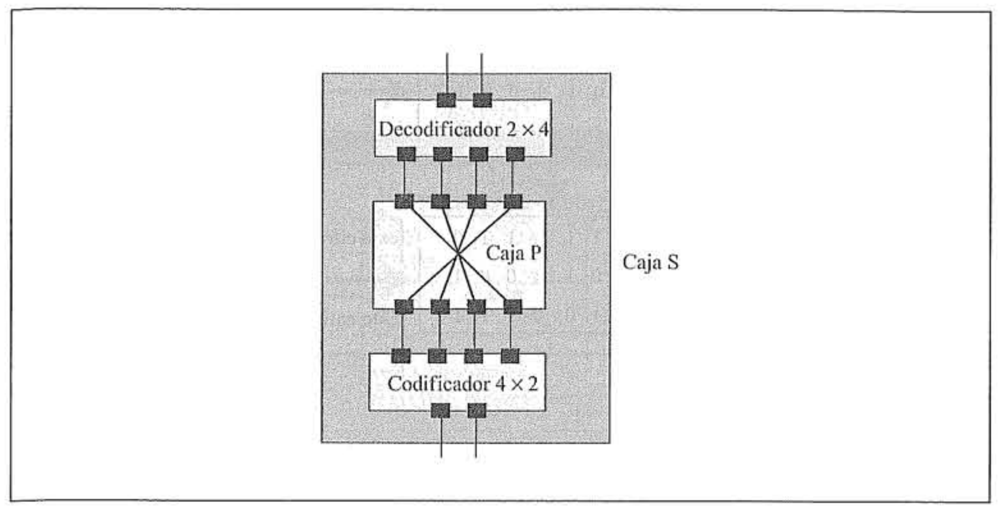


Figura 23.14. *Sustitución.*

- **Producto.** Las cajas P y las cajas S se pueden combinar para formar lo que se denomina **producto.** Una unidad producto está compuesta de varias etapas de cajas P y S, como se muestra en la Figura 23.15.
- **OR exclusivo.** Una operación muy interesante sobre datos a nivel de bit es el **OR exclusivo.** El resultado de esta operación sobre dos bits es 0 si los dos bits son idénticos y 1 si son distintos. Se realiza un OR exclusivo entre la entrada y la clave para crear la salida. La Figura 23.16 muestra un ejemplo. Como se muestra en la figura, la operación OR exclusiva es recíproca, lo que significa que se puede utilizar la misma clave con el texto cifrado en el receptor para crear el texto nativo original.

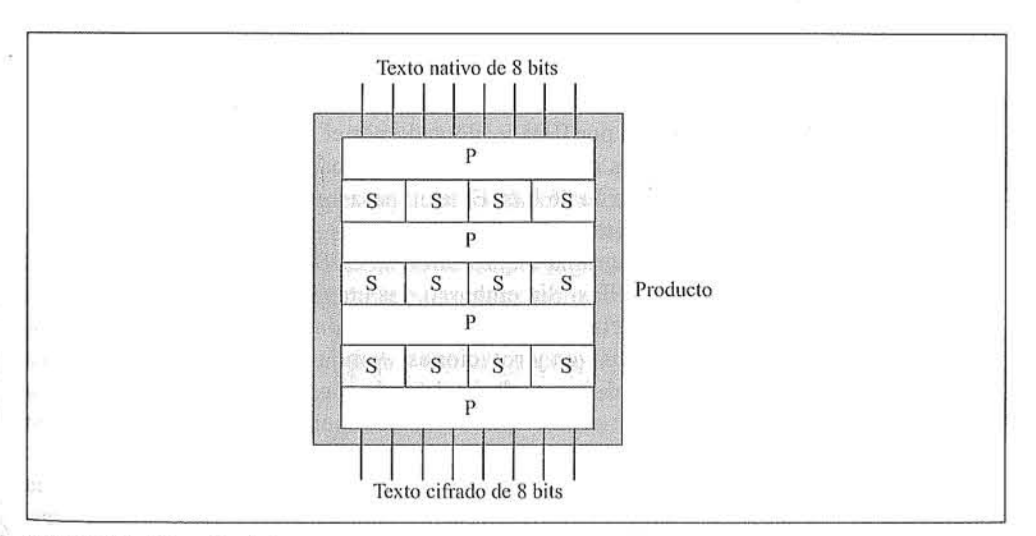


Figura 23.15. *Producto.*

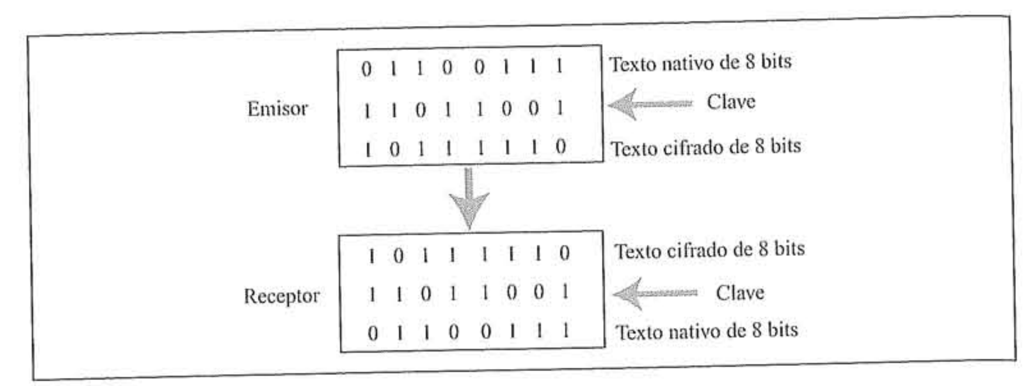


Figura 23.16. *OR exclusivo.*

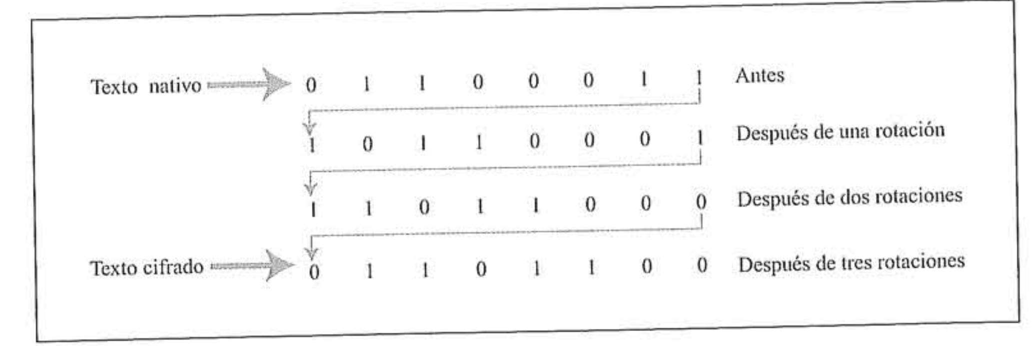


Figura 23.17. *Rotación.*

- **Rotación.** Otra forma de cifrar un patrón de bits es rotar los bits a la derecha o a la izquierda. La clave es el número de bits a rotar. La Figura 23.17 muestra un texto nativo rotado para crear el texto cifrado.

Estándar de cifrado de datos (DES)

Un ejemplo de cifrado a nivel de bits es el **estándar de cifrado de datos (DES,** *Data Encryptation Standard*). DES fue diseñado por IBM y adoptado por el gobierno del EE.UU. como método de cifrado estándar para usos no militares y clasificados. El algoritmo cifra un texto plano de 64 bits utilizando una clave de 56 bits. El texto pasa a través de 19 procedimientos diferentes y complejos para crear un texto cifrado de 64 bits.

La Figura 23.18 muestra un diagrama esquemático de DES. La primera y las dos últimas etapas son relativamente sencillas. Sin embargo, las etapas 2 a la 17 son complejas, cada una de las cuales requiere subetapas que son combinaciones de transposiciones, sustituciones, intercambios, OR exclusivos y rotaciones. Aunque las etapas 2 a 17 son las mismas, cada una utiliza una clave diferente derivada de la clave original. La complejidad adicional se consigue haciendo que cada etapa utilice como entrada la salida de la etapa anterior.

La Figura 23.19 muestra cómo una clave de 56 bits genera 16 subclaves diferentes, cada una de 48 bits. La Figura 23.20 ilustra la operación involucrada en cada una de las 16 etapas complejas.

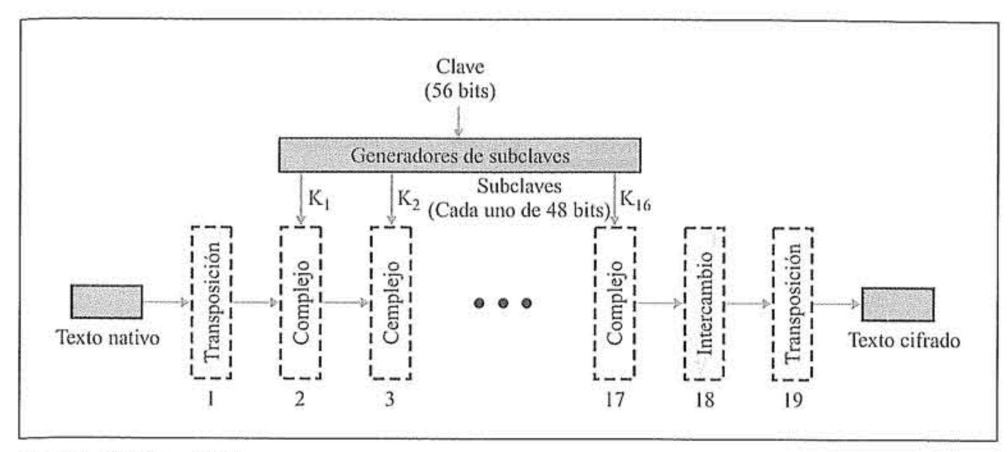


Figura 23.18. *DES.*

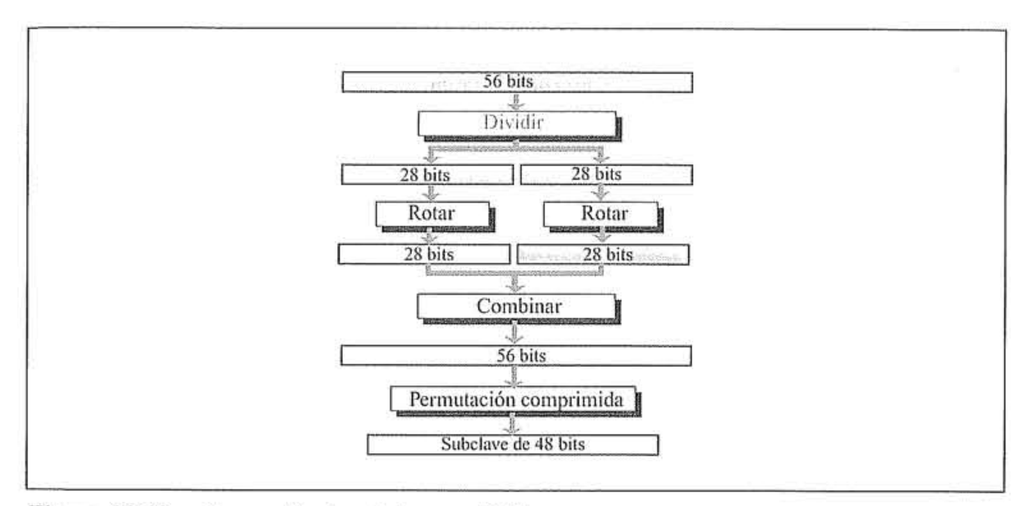


Figura 23.19. *Generación de subclaves en DES.*

Métodos de clave pública

En los métodos convencionales de cifrado y descifrado, el algoritmo de descifrado es siempre el inverso del algoritmo de cifrado y utiliza la misma clave. Cualquiera que conozca el algoritmo de cifrado y la clave puede deducir el algoritmo de descifrado. Por esta razón, la seguridad sólo se puede asegurar si el proceso entero se mantiene en secreto. En casos en los que hay muchos emisores y un receptor, sin embargo, este nivel de seguridad puede ser un inconveniente. Por ejemplo, imagine que un banco quiere dar a sus clientes acceso remoto a sus cuentas. Para asegurar que cada cliente sólo tiene acceso a su propia cuenta utilizando un método de cifrado convencional, el banco debería crear millones de algoritmos de cifrado y claves. Esta solución es impracticable, particularmente por el hecho de que constantemente hay clientes que dejan el banco y nuevos clientes que llegan. Por otro lado, si el banco diera el mismo algoritmo de cifrado y la misma clave a todos los clientes, no se podría garantizar la privacidad de los clientes.

Figura 23.20. *Una de las 16 etapas de DES.*

La solución es **el cifrado de clave pública.** En este método, cada usuario tiene el mismo algoritmo de cifrado y la misma clave. El algoritmo y la clave de descifrado, sin embargo, son secretas. Cualquiera puede cifrar información, pero sólo un receptor autorizado puede descifrarla. El algoritmo de descifrado se diseña de forma que no sea el inverso del algoritmo de cifrado. Los algoritmos de cifrado y de descifrado utilizan funciones completamente diferentes y el conocimiento de uno no permite conocer el otro. Además, las claves son diferentes. Incluso con el algoritmo y la clave de cifrado, un intruso sería incapaz de descifrar el código (al menos no de forma fácil).

La Figura 23.21 ilustra la idea de utilizar **claves públicas** para que los clientes accedan a los servicios del banco. El algoritmo y la clave de cifrado son públicas. Todos los clientes pueden utilizarla. El algoritmo y la clave de descifrado son secretas y sólo son utilizadas por el banco.

Cifrado RSA

Una técnica de cifrado de clave pública es el **cifrado Rivest, Shamir, Adleman (RSA).** En este método, una parte (un cliente del banco, por ejemplo) utiliza una clave pública Kp. La otra parte utiliza una **clave (privada),** Ks. Ambas utilizan un número, *N*. La Figura 23.22 muestra el cifrado y el descifrado.

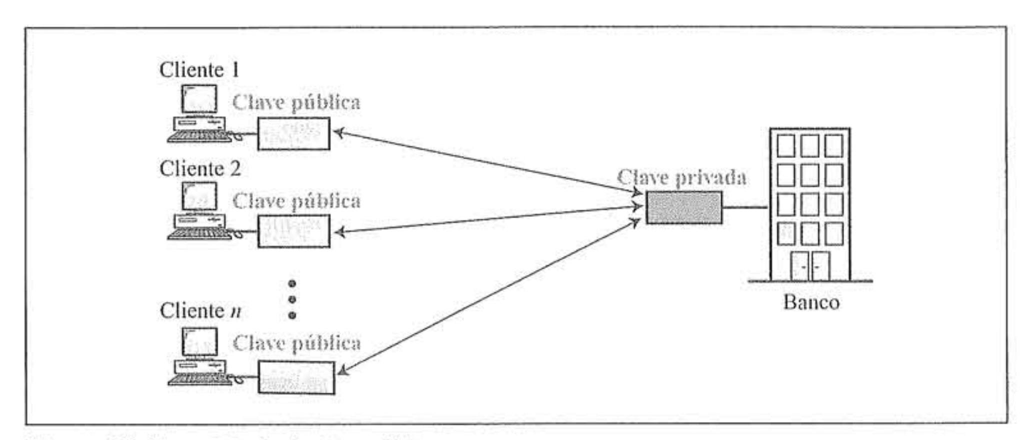


Figura 23.21. *Cifrado de clave pública.*

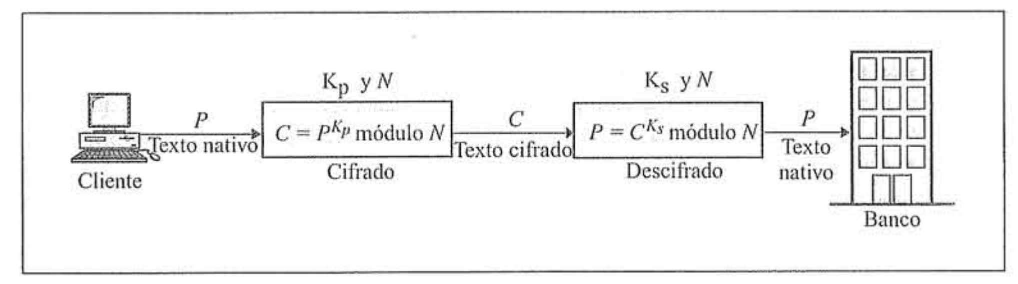


Figura 23.22. *RSA.*

El algoritmo de cifrado consta de las siguientes etapas:

- Codificar los datos a cifrar como un número para crear el texto nativo P.
- Calcular el texto cifrado *C* como $C = P^{Kp}$ módulo *N* (módulo significa dividir P^{Kp} por *N* y quedarse con el resto).
- Enviar *C* como texto cifrado.

El algoritmo de descifrado sigue las siguientes etapas:

- Recibir *C*, el texto cifrado.
- Calcular el texto nativo $P = C^{ks}$ módulo *N*.
- Decodificar *P* para obtener los datos originales.

Antes de discutir la selección de Kp, Ks y *N*, se va a mostrar un ejemplo. En la Figura 23.23, se elige Kp = 5, Ks=77 y *N*=119.

En este ejemplo, el carácter F se codifica como 6 (F es el sexto carácter del alfabeto). Se calcula 6^{Kp} módulo 119, que es igual a 41. En el receptor, se calcula 41^{Ks} módulo 119, que es 6 y se decodifica 6 como F.

Elección de Kp, Ks y N. La idea completa que hay detrás del algoritmo RSA es el modo en el que se eligen Ks, Kp y N. Esto se hace utilizando la teoría de números:

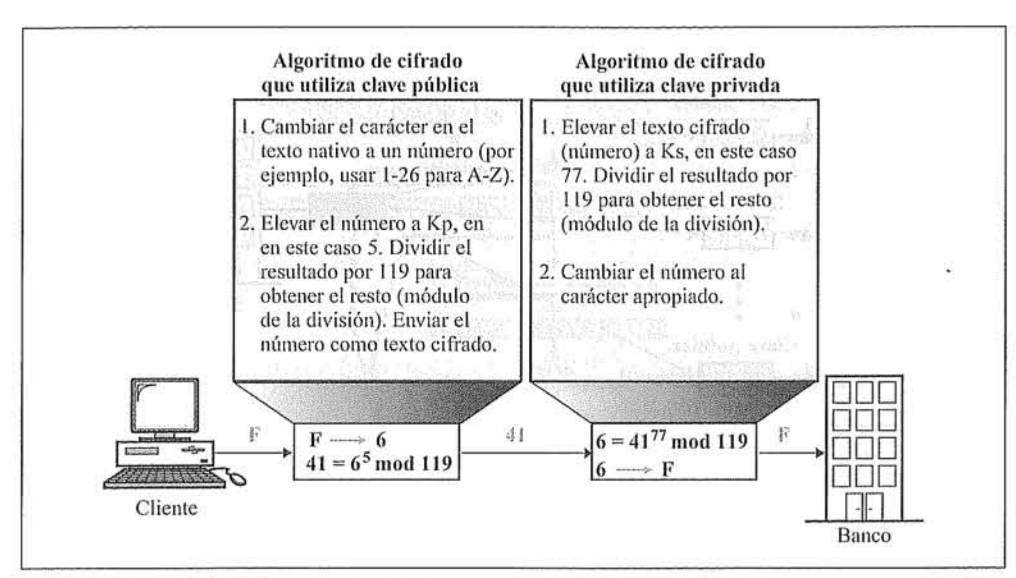


Figura 23.23. *Cifrado y descifrado RSA.*

- En primer lugar, se eligen dos números primos (un número primo es divisible sólo por uno y por sí mismo) p y q. (Elegimos 7 y 17.)
- Calcular N = $p \times q$. (En nuestro ejemplo, N = $7 \times 17 = 199$.)
- Seleccionar Kp de forma que no sea un factor de $(p-1) \times (q-1) = 96$. Los factores de 96 son 2, 2, 2, 2, 2 y 3. Se elige 5, que no es factor de 96.
- Seleccionar Ks, tal que (Kp × Ks) módulo $(p-1) \times (q-1) = 1$. Se elige 77. Si lo comprueba, verá que en nuestro ejemplo, $5 \times 77 = 385$, y $385 = 4 \times 96 + 1$.

Seguridad de RSA En el ejemplo del banco, a cada cliente se le da un par de números Kp y N de forma pública. El banco guarda Ks, como la clave privada. La cuestión es, ¿si el banco puede calcular Ks, por qué no lo puede hacer un escuchador? La respuesta se basa en la complejidad del proceso. El banco comienza con dos números primos p y q para calcular

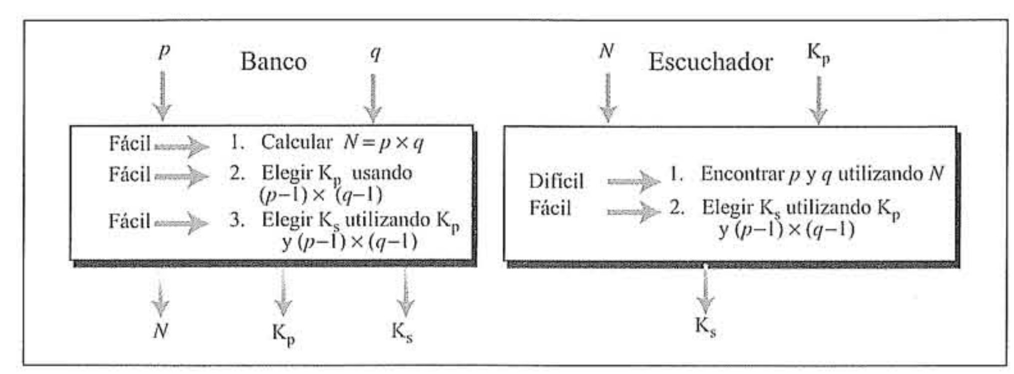


Figura 23.24. *Seguridad de RSA.*

N, Kp y Ks. El escuchador no conoce p y q. Necesita utilizar N para encontrar p y q y luego adivinar Ks. Si p y q se eligen de forma que N tenga unos cientos de dígitos, es extremadamente difícil encontrar sus factores primos (p y q). La Figura 23.24 ilustra esta situación.

Matemáticos han calculado que, por ejemplo, se tardaría más de 70 años en encontrar los factores primos (p y q) de un número con 100 dígitos (N).

Reciprocidad de RSA El algoritmo RSA es recíproco. Esto significa que el banco puede utilizar la misma clave privada, Ks, para enviar la respuesta al cliente y el cliente puede descifrar el mensaje utilizando su propia clave privada.

Autenticación

La **autenticación** significa verificar la identidad del emisor. En otras palabras, una técnica de autenticación intenta verificar que un mensaje procede de un emisor auténtico y no de un impostor. Aunque se han desarrollado muchos métodos de autenticación, se tratará sólo el método denominado **firma digital,** que se basa en cifrado de clave pública.

El concepto de firma digital es similar a la firma que se hace en un documento cuando realiza una transacción con un banco. Para retirar grandes cantidades de dinero del banco, debe ir al banco y rellenar un impreso de retirada de efectivo. El banco requiere que firme este impreso y almacena el impreso firmado. Se requiere la firma en el caso de que se realice cualquier consulta posterior sobre la autorización de la retirada de efectivo. Si, por ejemplo, usted dice más tarde que nunca retiró el dinero de su cuenta, el banco le puede mostrar su firma (o mostrarla a un juez) para demostrar que sí lo hizo.

En transacciones por red, usted no puede firmar personalmente la solicitud de retirada de dinero. Usted, sin embargo, puede crear el equivalente de una firma digital o electrónica cuando envía los datos.

Una implementación utiliza la reciprocidad de RSA. Como ya se dijo antes, Kp y Ks son recíprocas. Las firmas digitales añaden otro nivel de cifrado y descifrado al proceso discutido anteriormente. En esta ocasión, sin embargo, la clave secreta es almacenada por el cliente mientras que la correspondiente clave pública es utilizada por el banco. En este caso, el cliente utiliza una clave pública y una clave secreta y el banco utiliza una clave secreta y una pública.

La Figura 23.25 muestra el funcionamiento de una firma digital. El cliente cifra el texto nativo (P) utilizando una clave secreta, Ks-1, y crea el primer nivel de texto cifrado (C1). El primer texto cifrado es cifrado de nuevo utilizando la clave pública, Kp-1, para crear el segundo texto cifrado (C2). C2 es enviado a través de la red y recibido por el banco. El banco utiliza la clave secreta (Ks-2) para descifrar C2 y obtener C1. A continuación utiliza la clave pública (Kp-2) para descifrar C1 y obtener el texto nativo original. Antes de esto, sin embargo, copia C1 y la almacena en un archivo separado.

Si un día el cliente dice que él nunca hizo una transacción, el banco puede obtener C1 de sus archivos y aplicar Kp-2 para mostrarle que el creó P. Este descifrado no sería posible a no ser que el cliente hubiera aplicado originalmente Ks-1 a P para crear C1. A no ser que el cliente, en realidad, haya enviado la transacción, el texto C1 no podría existir. El cliente no puede decir que el banco creó C1 debido a que el banco no tiene la clave Ks-1 requerida para hacerlo. El cliente puede decir, por supuesto, que un usuario no autorizado obtuvo acceso a Ks-1. En ese caso, sin embargo, el juez puede indicar que es responsabilidad del cliente mantener la clave Ks-1 secreta y, por tanto, absolver al banco de cualquier delito.

Figura 23.25. *Autenticación mediante firma.*

Compresión de datos

Incluso con un medio de transmisión muy rápido, hay siempre necesidad de enviar datos en muy poco tiempo. La **compresión de datos** reduce el número de bits enviados. La compresión de datos es particularmente importante cuando se envían datos que no son puro texto, como el sonido o el vídeo.

Los métodos utilizados para comprimir datos se dividen generalmente en dos amplias categorías: con pérdida y sin pérdida (véase la Figura 23.26).

Compresión sin pérdida

En la **compresión de datos sin pérdida,** los algoritmos de compresión y descompresión son normalmente el inverso uno del otro. En otras palabras, después de la descompresión, se obtendrán los datos exactos tal y como estaban antes de la compresión. No hay ninguna pérdida. A continuación se describen algunas de las técnicas utilizadas en la compresión sin pérdida.

Codificación por longitud de ráfaga. Cuando los datos contienen cadenas de caracteres o de símbolos repetidos (como bits o caracteres), las cadenas se pueden reemplazar por un marcador especial, seguido por el símbolo repetido y seguido por el número de ocurrencias. Por ejemplo, en la Figura 23.27, se utiliza el caracter # como símbolo marcador. Al símbolo que se repite (el símbolo de la ráfaga) le sigue el marcador. Después del símbolo de ráfaga, se muestra el número de ocurrencias (longitud) mediante un número de dos dígitos. Este método de codificación por longitud de ráfaga se puede utilizar en sonido (el silencio es una ráfaga de ceros) y vídeo (una ráfaga de fotogramas que tienen el mismo brillo y color).

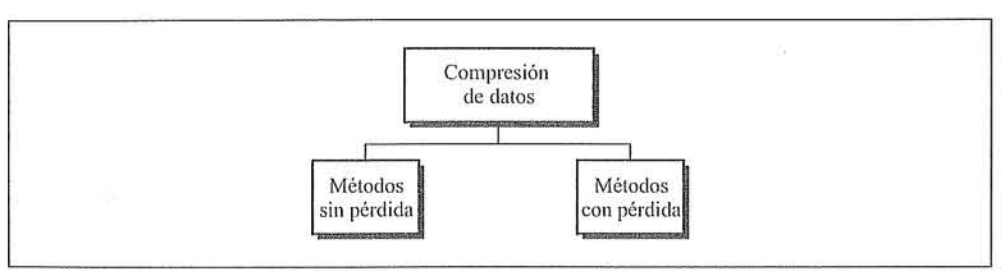


Figura 23.26. *Métodos de compresión de datos.*

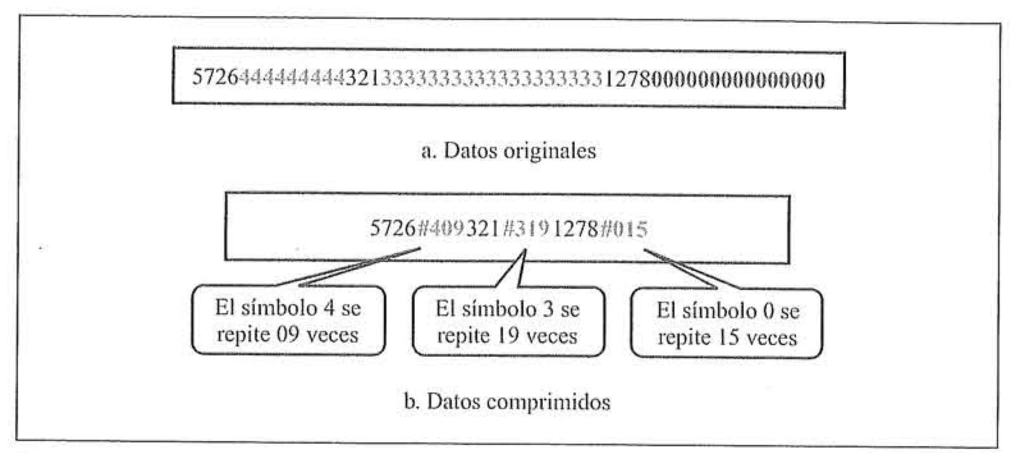


Figura 23.27. *Codificación por longitud de ráfaga.*

Compresión estadística Otro método de compresión sin pérdida es la **compresión estadística.** Este método utiliza códigos pequeños para símbolos frecuentes y códigos largos para símbolos infrecuentes. De esta forma, la longitud total de los datos se reduce enormemente. Los tres sistemas de codificación muy comunes que utilizan este principio son el código Morse, la codificación Huffman y la codificación Lempel-Ziv-Welch (LZW).

- **Código Morse.** El código Morse utiliza combinaciones de marcas (rayas) y espacios (puntos) de longitud variable para codificar los datos. Un código de un símbolo representa los caracteres más frecuentes y un código de cinco símbolos representa los caracteres menos frecuentes. Por ejemplo, un punto (.) representa el carácter E y cuatro rayas y un punto (--.--) representan el carácter Q.
- **Codificación Huffman.** La codificación Huffman (véase el Apéndice F) utiliza códigos de longitud variable (una cadena de 0 y 1) para codificar un conjunto de símbolos.
- **Codificación Lempel-Ziv-Welch.** La codificación Lempel-Ziv-Welch (véase el Apéndice G) busca las cadenas o palabras repetidas y las almacena en variables. A continuación, sustituye las ocurrencias de esas cadenas por un puntero a la variable. Por ejemplo, las palabras *el, entonces, fin*, e incluso algunas cadenas como *–as* u *–on* se repiten muchas veces. Cada una de estas palabras o cadenas se puede almacenar en variables aparte y luego los punteros pueden apuntar a ellas. Un puntero (dirección) requiere sólo unos pocos bits, mientras que una palabra puede necesitar decenas de bits. Este método es utilizado en UNIX.

Compresión relativa. Otra forma de reducir el número de bits es un método denominado **compresión relativa** o codificación diferencial. Este es extremadamente útil si estamos enviando, por ejemplo, vídeo. Las televisiones comerciales envían 30 marcos de 0 y 1 cada segundo. Sin embargo, normalmente hay poca diferencia entre marcos consecutivos. Por ello, en lugar de enviar un marco entero, se envía sólo la diferencia entre marcos consecutivos. Las pequeñas diferencias puede codificarse en pequeños flujos de bits.

Compresión con pérdida

Si la información descomprimida no necesita ser una réplica exacta de la información original sino algo muy parecida, se puede utilizar un método de **descompresión de datos sin pérdida.** Por ejemplo, en transmisión de vídeo, si una imagen no tiene fuertes discontinuidades, después de la transformación a una expresión matemática, la mayoría de la información se encuentra contenida en unos pocos términos. Enviar sólo estos términos puede permitir la reproducción del marco con suficiente precisión. Estos métodos se denominan métodos de compresión con pérdida debido a que pierden algunos datos originales en el proceso.

Varios métodos han sido desarrollados utilizando técnicas de compresión con pérdida. JPEG (Asociación de grupos de expertos en fotografía) y MPEG (Grupo de expertos en imágenes en movimiento).

23.3. NIVEL DE APLICACIÓN

El séptimo nivel del modelo OSI es el nivel de aplicación. El nivel de aplicación contiene cualquier función requerida por el usuario –por ejemplo, **el correo electrónico**– y como tal, ninguna estandarización en general es posible. Sin embargo, la ITU-T ha reconocido que hay varias aplicaciones comunes para las cuales la estandarización es posible. Se van a examinar cinco de estas aplicaciones aquí: el sistema de gestión de mensajes (MHS); la transferencia, acceso y gestión de archivos (FTAM); terminal virtual (VT); sistema de directorios (DS); y el protocolo común de gestión de información (CMIP).

Sistema de gestión de mensajes (MHS)

El **sistema de gestión de mensajes (MHS,** *Message Handling System*) es el protocolo OSI en el que se fundamenta el correo electrónico y el mecanismo de almacenamiento y reenvío. Deriva de las series **X.400** de ITU-T. MHS es el sistema utilizado para enviar cualquier mensaje (incluyendo copias de datos o archivos) que pueden ser entregados mediante una esquema de almacenamiento y reenvío. La entrega con almacenamiento y reenvío significa que, en lugar de abrir un canal activo entre el emisor y el receptor, el protocolo ofrece un servicio de entrega que reenvía el mensaje cuando el enlace se encuentra disponible. En la mayoría de los protocolos utilizados para compartir información, tanto el emisor como el receptor deben ser capaces de participar en el intercambio concurrentemente. El sistema de entrega puede no ser capaz de transmitir el mensaje inmediatamente, en cuyo caso almacena el mensaje hasta que cambien las condiciones. Cuando el mensaje es entregado, se almacena en el buzón del receptor hasta que sea pedido.

El sistema de correo regular ofrece una analogía con la gestión de mensajes del modelo OSI: un emisor compone una carta, escribe la dirección y la deposita en un buzón para su posterior recogida. El cartero recupera las cartas y las lleva a la oficina postal. El servicio postal encamina la carta a través de las oficinas postales necesarias hasta llevar a la oficina que sirve a la dirección del receptor. Otro cartero entrega la carta en el buzón del destinatario. Finalmente, el destinatario comprueba su buzón y encuentra la carta.

De igual forma, en un sistema de correo electrónico, el usuario deposita un mensaje electrónico con un sistema de entrega de correo electrónico. El sistema de entrega coopera con otro sistema para transferir el mensaje al buzón del receptor.

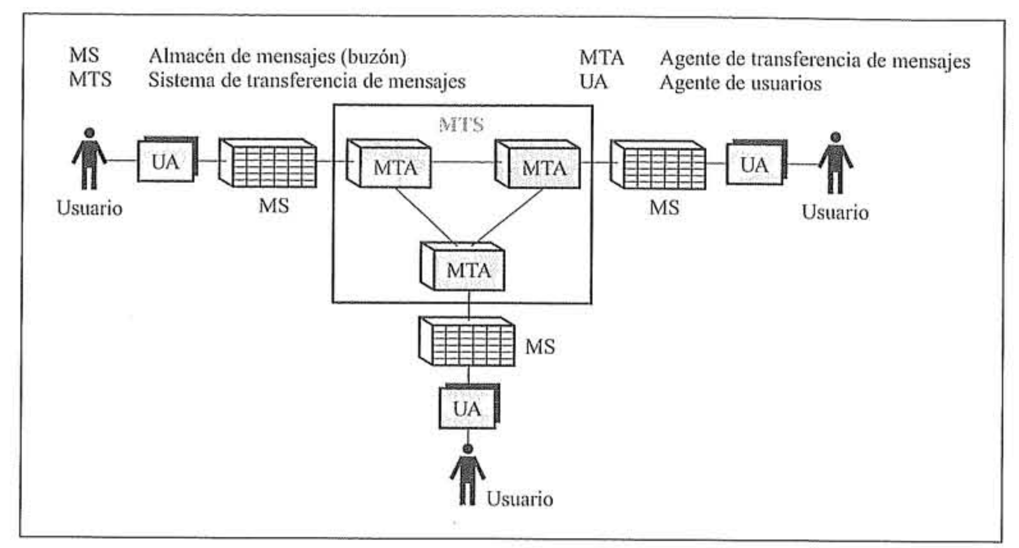


Figura 23.28. *MHS.*

Estructura del MHS

La estructura del sistema de gestión de mensajes del modelo OSI se muestra en la Figura 23.28. Cada usuario se comunica con un programa o proceso denominado agente de usuario (UA). El UA es único para cada usuario (cada usuario recibe una copia del programa o proceso). Un ejemplo de UA es el programa de correo electrónico asociado con un sistema operativo específico que permite al usuario editar mensajes.

Cada usuario tiene un almacén de mensajes (MS), que consta de un espacio de disco en un sistema de almacenamiento de correo y se conoce normalmente como buzón. El almacén de mensajes puede utilizarse para ordenar, enviar o recibir mensajes.

El almacén de mensajes se comunica con una serie de procesos denominados **agentes de transferencia de mensajes (MTA).** Los agentes de transferencia de mensajes son como los diferentes departamentos de una oficina postal. Los MTA combinados dan lugar a un **sistema de transferencia de mensajes (MTS).**

Formato del mensaje

El estándar MHS define el formato de un mensaje (véase la Figura 23.29). El cuerpo del mensaje se corresponde con el material (al igual que una carta) que va dentro del sobre del correo convencional. Cada mensaje puede incluir la dirección (nombre) del emisor, la dirección (nombre) del receptor, el asunto del mensaje y una lista con otros posibles receptores del mensaje.

Transferencia, acceso y gestión de archivos (FTAM)

El protocolo de **transferencia, acceso y gestión de archivos (FTAM,** *File Transfer, Access, and Management*) se utiliza para transferir (copiar), acceder (leer, escribir o modificar), y gestionar (controlar) archivos.

Los archivos se almacenan de forma distinta en sistemas diferentes. En un entorno UNIX, un archivo es una secuencia de caracteres (bytes). En un entorno MVS de IBM, por otro lado,

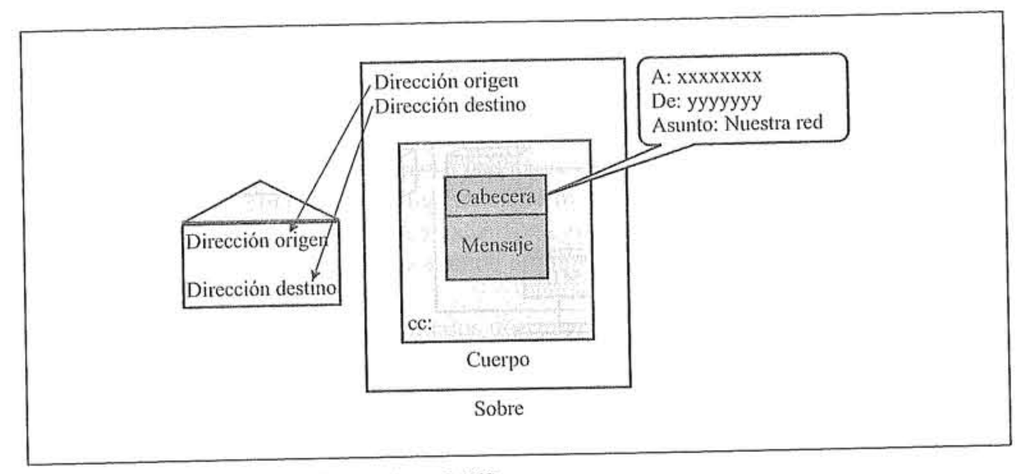


Figura 23.29. *Formato del mensaje en MHS.*

un archivo es una colección de registros. La organización de un archivo depende del sistema operativo utilizado.

Archivos virtuales y almacenes de archivos

Para permitir la interacción de diferentes sistemas, FTAM utiliza el concepto de archivos virtuales y almacenes de archivos virtuales. Un **almacén de archivos virtuales** es un modelo independiente de la implementación para archivos y bases de datos que puede utilizarse como un intermediario para la transferencia, acceso y gestión de archivos. El concepto de almacén de archivos para archivos es similar al concepto de ASN.1 (descrito anteriormente en este capítulo como parte del nivel de presentación) para datos.

FTAM se basa en acceso asimétrico a un **archivo virtual.** Por asimétrico se quiere indicar que cada transacción requiere un iniciador y un elemento que responda. El iniciador solicita la transferencia, el acceso o la gestión de un archivo al elemento que responde. Este crea un modelo de archivo virtual de su archivo real y permite que el iniciador utilice el modelo virtual en lugar del archivo real (véase la Figura 23.30). Debido a que el modelo es *software*, puede diseñarse de forma independiente del *hardware* y del sistema operativo. El modelo también crea una separación segura entre el archivo al que el iniciador puede acceder y otros en el mismo almacenamiento real.

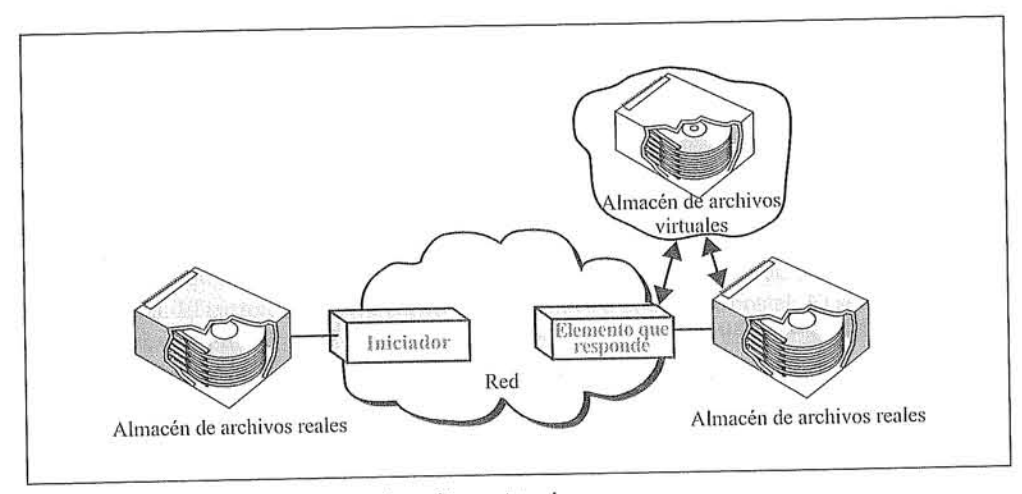


Figura 23.30. *Almacenamiento de archivos virtuales.*

Atributos y contenido

La creación de un almacén de archivos virtuales se basa en dos aspectos de un archivo en cuestión: los atributos y el contenido. Los atributos de un archivo son el conjunto de propiedades o medidas de seguridad utilizadas para controlar el contenido o el acceso. FTAM distingue entre dos tipos diferentes de atributos: por contenido y por acceso. Los atributos por contenido son aquellos relacionados con el contenido del archivo. Los atributos por acceso son las medidas de seguridad que controlan el acceso al archivo.

Terminal virtual (VT)

Uno de las aplicaciones más importantes definidas en el modelo OSI es el terminal virtual (VT, *Virtual Terminal*).

Acceso remoto

Normalmente, el acceso a una estación (como una minicomputadora, una estación de trabajo o un *mainframe*) se realiza a través de un terminal. Los terminales se encuentran físicamente conectados con la estación. Esta conexión física se conoce como **acceso local** (véase la Figura 23.31). Cada estación contiene un *software* (denominado **controlador de terminales**) diseñado para ofrecer una interfaz con el tipo de terminal específico normalmente conectado a ella. Por ejemplo, una computadora IBM está diseñada para comunicarse con terminales IBM, las computadoras DEC están diseñadas para comunicarse con terminales DEC, y así sucesivamente.

Una de las atracciones de las redes, sin embargo, es la capacidad para entrar en una estación desde un terminal que no está directamente conectado con ella. El terminal del usuario se conecta a una estación local, que se conecta a su vez a través de la red con una estación remota (véase la Figura 23.32).

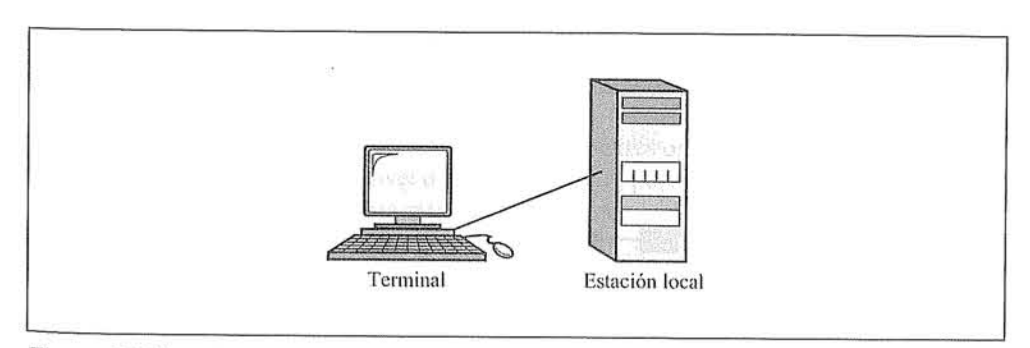


Figura 23.31. *Acceso local.*

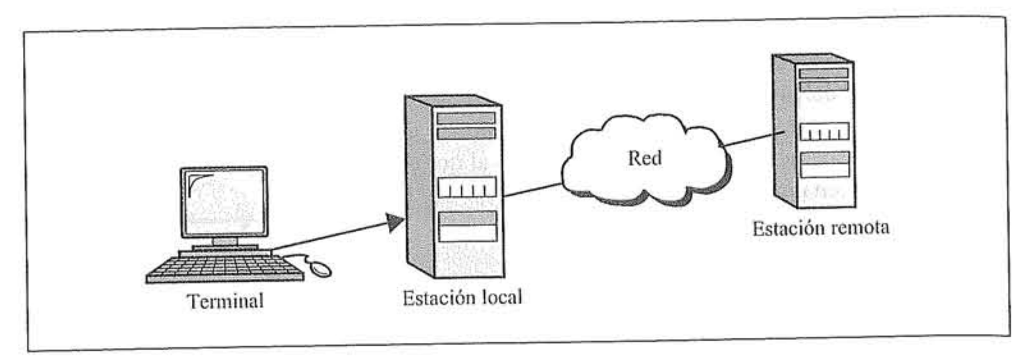


Figura 23.32. *Acceso remoto.*

Si el terminal y la estación remota son del mismo tipo (ambos IBM, por ejemplo), entonces la red meramente actúa como un enlace local extralargo. Los problemas aparecen, sin embargo, cuando un terminal de un tipo desea conectarse (remota o localmente) a una estación de otro tipo. Una máquina diseñada para comunicarse con cualquier tipo de terminal del mucho requeriría cientos de controladores de terminales. El reto para los diseñadores del modelo OSI fue crear un mecanismo que permitiera que cualquier terminal tuviese acceso a cualquier computadora a pesar de la incompatibilidad *hardware*.

Terminal virtual

El problema se ha resuelto construyendo un **terminal virtual (VT)**. Un terminal virtual es un terminal imaginario (un modelo *software* para un terminal) con un conjunto de características estándar que todas las estaciones entienden. Es una versión *software* de un terminal físico.

Un terminal que desea comunicarse con una estación remota se comunica con su estación local. La estación local contiene un *software* VT que traduce los datos solicitados o recibidos desde el terminal real a un formato intermedio utilizado por el terminal virtual. Los datos reformateados viajan por la red hasta la estación remota. La estación remota pasa la transmisión a su propio *software* VT, que la transforma desde su formato VT al formato utilizado por los terminales propios de la estación remota. La estación remota, por tanto, recibe la entrada como si fuera de una estación local (el terminal virtual). Después de procesar la petición, la estación remota puede devolver una respuesta que sigue el mismo procedimiento pero en el sentido inverso (véase la Figura 23.33).

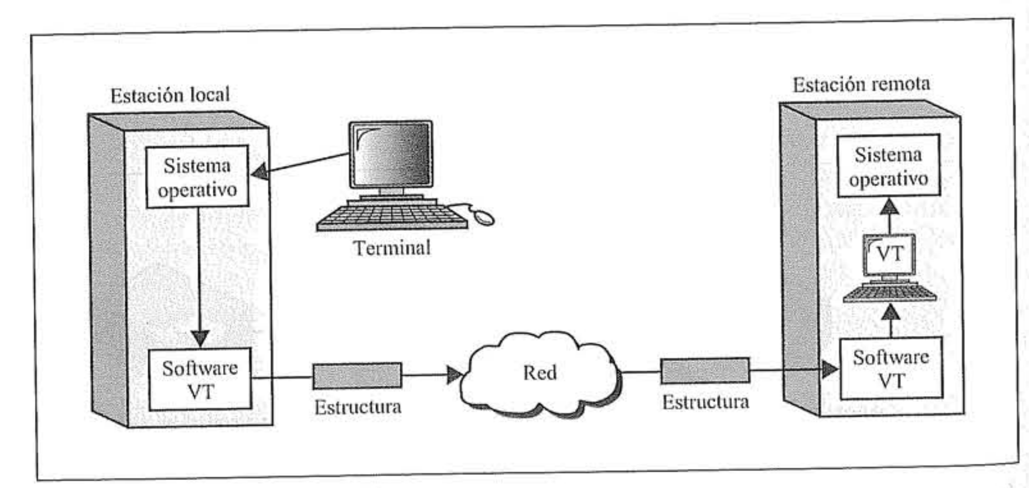


Figura 23.33. *Terminal virtual.*

Servicio de directorios (DS)

El **servicio de directorios (DS,** *Directory Services*) del modelo OSI fue diseñado de acuerdo al estándar **X.500** de la ITU-T. Un directorio es una fuente global de información sobre muchos objetos diferentes. Un servicio de directorios OSI es un programa de aplicación utilizado para representar y localizar objetos (como personas, organizaciones, grupos lógicos, programas y archivos) contenidos en un directorio OSI. El tipo de información que almacena un directorio varía de acuerdo al tipo del objeto.

Para el usuario del servicio de directorios, toda esta información aparece almacenada como en una única base de datos, localizada en una única estación. En la realidad, esta organización sería muy poco práctica. Un directorio es una base de datos distribuida, en la que cada estación sólo almacena una parte. El mecanismo de acceso, sin embargo, está estructurado para que los usuarios puedan recuperar toda la información a partir de un único puerto de entrada. (Observe que el usuario del servicio de directorio puede ser una persona o una aplicación.)

DIB

La información contenida en el directorio se denomina **base de información de directorio (DIB).** Se almacena como un conjunto de entradas, cada una de las cuales describe un objeto. Una entrada puede constar de varias partes, cada una de las cuales describe un atributo diferente del objeto. Por ejemplo, una entrada sobre OSI podría incluir una breve descripción del objetivo de la organización, la dirección de correo, el número de teléfono y otra información similar.

La estructura entera se organiza como un árbol con diferentes niveles de generalidad en cada rama.

DUA y DSA

Los usuarios obtienen acceso al servicio de directorios mediante un mecanismo denominado **agente de usuario de directorio (DUA,** *Directory User Agent*). El DUA se comunica con una o más entidades denominadas **agentes del sistema de directorio (DSA,** *Directory System Agents*) contenidos dentro del sistema de directorios.

El DUA pasa una petición de información a un DSA. Si el DSA sabe el lugar donde se encuentra la información, o rellena la petición o la pasa a otro DSA con el acceso necesario, y así sucesivamente. La información solicitada es recuperada y pasada de vuelta a través de los sucesivos DSA hasta el DUA.

Si un DSA no sabe cómo rellenar la petición, tiene tres opciones: puede reenviar la petición a un DSA con acceso a un nivel diferente del árbol; puede difundir la petición y esperar una respuesta, o puede devolver un informe notificando el fallo al DUA.

Protocolo común de gestión de información (CMIP)

ISO y la ITU-T, trabajando juntos, han desarrollado una serie de servicios para la gestión de un sistema OSI. Los servicios de gestión más importantes de OSI se denominan **servicios**

comunes de gestión de información (CMIS, *Common Management Information Services*). El protocolo para implementar estos servicios se denomina **protocolo común de gestión de información (CMIP,** *Common Managemente Information Protocol*).

Toda la gestión CMIP se lleva a cabo monitorizando y manipulando la comunicación entre entidades OSI denominadas *objetos gestionados*. Un objeto gestionado es un recurso de red, como una estación de trabajo, un conmutador, un encaminador *software* o *hardware*, programas de colas, etc. CMIP permite a los usuarios realizar acciones sobre objetos gestionados (incluyendo cambiar su estado para objetivos de prueba y eficiencia) y recuperar datos sobre el estado de esos objetos. Mediante el registro de los datos capturados (por ejemplo, el número de bytes procesados por un encaminador en periodos específicos de tiempo) y el cambio de las opciones de un objeto gestionado y la monitorización de la respuesta, un usuario puede evaluar las prestaciones de un sistema e identificar los problemas que pueden aparecer.

CMIS

Los servicios comunes de gestión de información (CMIS) se han diseñado para cumplir cinco objetivos:

- **Gestión de fallos.** Se han incluido servicios para detectar, aislar y corregir cualquier operación normal del entorno OSI. Las tareas específicas incluyen pruebas de diagnóstico, trazas de fallos y, cuando es posible, corrección de fallos.
- **Gestión de contabilidad.** Se han incluido servicios para contabilizar el coste y los precios de un usuario y, si es necesario, poner límites sobre el uso de los objetos gestionados.
- **Configuración y gestión de nombres.** Se han incluido servicios para inicializar y cerrar objetos gestionados, para reconfigurar un sistema abierto y para asociar nombres con objetos o conjuntos de objetos. CMIS permite al usuario asegurar la operación continúa de servicios de comunicación en un entorno cambiante.
- **Gestión de las prestaciones.** Se han proporcionado servicios que permiten a los usuarios evaluar el funcionamiento de los objetos gestionados y la efectividad de las funciones de interconexión de redes.
- **Gestión de la seguridad.** Se han ofrecido servicios para evaluar la efectividad y operatividad de las medidas de seguridad de una red.

CMISE

Los servicios específicos ofrecidos por CMIS se denominan **elementos de servicios comunes de gestión de información (CMISE,** *Common Management Information Service Elements*). Estos servicios se pueden agrupar en tres categorías: servicios de gestión de asociación, servicios de gestión de notificación y servicios de gestión de operación.

Servicio de gestión de asociación

Los servicios de gestión de asociación establecen las asociaciones de las aplicaciones para permitir a los usuarios de CMIS comunicarse. CMIS incluye tres elementos de servicios de asociación. M-INITIALIZE se utiliza para establecer una asociación con un servicio CMISE paritario. M-TERMINATE se utiliza para obtener la terminación normal de una asociación. M-ABORT se utiliza para obtener una liberación brusca de una asociación.

Servicio de gestión de notificación

Los servicios de gestión de notificación se utilizan para comunicar notificaciones de eventos de objetos gestionados. M-EVENT-REPORT se utiliza para informar de eventos de un objeto gestionado a un usuario de servicio. Se puede informar sobre cualquier evento que el usuario de CMISE elija e incluye una marca de tiempo de la ocurrencia.

Servicio de gestión de operación

Los servicios de gestión de operación incluyen seis servicios utilizados para transportar información de gestión sobre las operaciones del sistema al usuario de CMISE:

- **M-GET.** M-GET solicita la recuperación de información de gestión del usuario paritario de CMISE.
- **M-CANCEL-GET.** M-CANCEL-GET solicita la cancelación de una petición M-GET anterior.
- **M-SET.** M-SET solicita la modificación de valores específicos de un atributo de un objeto gestionado.
- **M-ACTION.** M-ACTION solicita a otro usuario que realice una acción sobre un objeto gestionado.
- **M-CREATE.** M-CREATE solicita a otro usuario que cree una representación de una instancia de un objeto gestionado y los valores de información de gestión asociados.
- **M-DELETE.** M-DELETE solicita a un usuario paritario que borre una instancia de un objeto gestionado (el contrario a M-CREATE).

23.4. TÉRMINOS Y CONCEPTOS CLAVE

acceso local
agente de sistema de directorios (DSA)
agente de transferencia de mensajes (MTA)
agente de usuario de directorios (DUA)
almacén de archivos virtuales
archivo virtual
Asociación de grupos de expertos en fotografía (JPEG)
autenticación
base de información de directorios (DIB)
caja P
caja S
cifra de Vignere
cifrado
cifrado a nivel de bit
cifrado a nivel de carácter
cifrado convencional
cifrado convencional
cifrado de clave pública
cifrado monoalfabético
cifrado polialfabético
cifrado por transposición
cifrado Rivest, Shamir, Adleman (RSA)
clave cifrada
clave pública
codificación
codificación Huffman
codificación Lemep-Ziv-Welch (ZLW)
codificación por longitud de ráfaga
código Morse
compresión
compresión
compresión de datos
compresión de datos con pérdida
compresión de datos sin pérdida
compresión estadística

compresión relativa
correo electrónico
decodificación
descifrado
diálogo
elemento de servicios comunes de gestión de información (CMISE)
estándar de cifrado de datos (DES)
firma digital
Grupo de expertos en imágenes en movimiento (MPEG)
nivel de aplicación
notación de sintaxis abstracta 1 (ASN.1)
OR exclusivo
permutación comprimida
permutación expandida
producto
protocolo común de gestión de información (CMIP)
punto de sincronización principal
punto de sincronización secundario
puntos de sincronización
servicio común de gestión de información (CMIS)
servicio de directorios (DS)
sistema de gestión de mensajes (MHS)
sistema de transferencia de mensajes (MTS)
sustitución
terminal virtual (VT)
texto cifrado
texto nativo
traducción
transferencia, acceso y gestión de archivos (FTAM)
unidad de datos del protocolo de sesión (SPDU)
X.400
X.500

23.5. RESUMEN

- El nivel de sesión establece, mantiene y sincroniza los diálogos entre nodos.
- El control de flujo y de errores en el nivel de sesión utiliza puntos de sincronización, que son puntos de referencia introducidos en los datos.
- El nivel de presentación gestiona la traducción, el cifrado, la autenticación y la compresión.
- El cifrado convierte un mensaje (texto nativo) en uno que es ininteligible para las personas no autorizadas.
- El descrifrado transforma un mensaje intencionadamente ininteligible (texto cifrado) en información con sentido.
- Los métodos de cifrado/descifrado pueden clasificarse en métodos convencionales y métodos de clave pública.
- El cifrado por sustitución y por transposición son métodos de cifrado a nivel de carácter.
- Los métodos de cifrado a nivel de bits incluyen la codificación/decodificación, la permutación, la sustitución, el producto, el OR exclusivo y la rotación.
- DES es un método de cifrado a nivel de bits adoptado por el gobierno de los EE.UU.
- En el cifrado convencional, el algoritmo de cifrado es conocido por cualquiera, pero la clave es secreta excepto para el emisor y el receptor.
- En el cifrado de clave pública, el algoritmo de cifrado y la clave de cifrado son conocidas por todo el mundo pero la clave de descifrado sólo es conocida por el receptor.

- Uno de los métodos de cifrado de clave pública más conocido es el algoritmo RSA.
- La firma digital es uno de los métodos de autenticación utilizados hoy en día.
- El objetivo de la compresión de datos es reducir el número de bits a transmitir.
- Los métodos de compresión de datos pueden ser sin pérdida (toda la información es recuperable) o con pérdida (se pierde alguna información).
- A continuación se enumeran cinco protocolos de aplicación estándar:
  - Sistema de gestión de mensajes (MHS) –el protocolo para la gestión de correo electrónico y almacenamiento y reenvío de mensajes.
  - Transferencia, acceso y gestión de archivos (FTAM) –transfiere, accede y gestiona archivos. FTAM utiliza archivos virtuales.
  - Terminal virtual (VT) –permite a terminales o máquinas con distintas características comunicarse con otras.
  - Servicio de directorios (DS) –un programa de aplicación que permite a los usuarios acceder a bases de datos.
  - Protocolo común de gestión de información (CMIP) –implementa un servicio de gestión de OSI.
- El cambio en la representación interna de los datos de uno a otro se denomina traducción.

23.6. MATERIAL PRÁCTICO

Preguntas de revisión

1. Describa las funciones del nivel de sesión.
2. Defina el concepto de *cierre gracioso.*
3. ¿En qué situación serían prácticamente innecesarios los puntos de sincronización?
4. ¿En qué situación serían importantes los puntos de sincronización?
5. ¿Cuál es la diferencia entre los puntos de sincronización principales y los secundarios?
6. Describa las funciones del nivel de presentación.
7. ¿Cuál es el método de traducción recomendado por el modelo OSI? ¿Cuál es el papel de ASN.1?
8. ¿Cuál es la relación que existe entre el texto nativo y el texto cifrado?
9. ¿Cuáles son los dos grandes métodos de cifrado/descifrado? ¿Cuál es la principal diferencia entre ellos?
10. ¿Cuál es el concepto que subyace al cifrado a nivel de caracteres por sustitución?
11. ¿En qué es mejor la sustitución polialfabética a la monoalfabética?
12. ¿Qué concepto subyace al cifrado a nivel de caracteres por transposición?
13. ¿Qué tipo de operaciones puede realizarse sobre el cifrado?
14. Compare la permutación directa, la comprimida y la expandida.
15. ¿Qué método de cifrado para información no militar y no clasificada ha elegido el gobierno de los EE.UU. como estándar de cifrado?
16. ¿Por qué los métodos de cifrado convencionales no son adecuados para un banco?
17. En el cifrado de clave privada, discuta las claves y sus propietarios.

18. En el cifrado de clave pública, discuta las claves y sus propietarios.
19. Explique el término *reciprocidad* en relación con el algoritmo RSA.
20. ¿Por qué es necesaria la autenticación en la comunicación en Internet?
21. ¿Cuáles son las dos categorías de métodos de compresión de datos? ¿Cuál es la principal diferencia entre estas categorías?
22. ¿Qué es la codificación por longitud de ráfaga?
23. ¿Qué es la compresión estadística?
24. ¿De qué forma reduce el código Morse la cantidad de bits transmitidos?
25. ¿De qué forma reduce la codificación Lempel-Ziv-Welch la cantidad de bits transmitidos?
26. ¿Qué es la compresión relativa?
27. Enumere los componentes y las funciones del sistema de gestión de mensajes.
28. ¿Qué es un almacén de archivos virtuales y para qué se necesita?
29. ¿Qué es un terminal virtual y cómo se utiliza en el acceso remoto?
30. Analice las relaciones entre el DIB, el DUA y el DSA en el servicio de directorios del modelo OSI.
31. ¿Cómo se relacionan CMIP, CMIS y CMISE.
32. ¿Por qué es necesario el concepto de terminal virtual?

Preguntas con respuesta múltiple

33. El cifrado y el descifrado son funciones del nivel _____.
    a. de transporte
    b. de sesión
    c. de presentación
    d. de aplicación
34. ¿Cuál de las siguientes características describe a un agente de usuario?
    a. un proceso con cada usuario que realiza una comunicación
    b. la persona que está enviando el mensaje
    c. el almacenamiento utilizado para almacenar el mensaje
    d. el sistema operativo utilizado por MHS
35. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es cierta sobre FTAM?
    a. El almacén de archivos es una colección de archivos.
    b. Los atributos y el contenido definen un archivo
    c. Fue desarrollado como un método para gestionar diferentes tipos de archivos en diferentes sistemas operativos
    d. Todas las anteriores
36. El nivel de ____ es responsable de establecimiento, el mantenimiento, la sincronización y la terminación del diálogo.
    a. transporte
    b. sesión
    c. presentación
    d. aplicación
37. El nivel de _____ puede desconectar una sesión de forma brusca, mientras que el nivel de _____ ofrece una desconexión graciosa.
    a. sesión; presentación
    b. sesión; aplicación

    c. sesión; transporte
    d. transporte; sesión
38. La _____ proporciona un método para recuperar datos que han sido entregados pero no utilizados.
    a. segmentación
    b. concatenación
    c. traducción
    d. sincronización
39. ¿Cuál de las siguientes características está presente en las funciones del nivel de presentación?
    a. cifrado de los datos
    b. compresión de los datos
    c. traducción de los datos
    d. todas las anteriores
40. Un _____ es un programa de aplicación que puede representar objetos locales en un directorio.
    a. MHS
    b. FTAM
    c. DS
    d. CMIP
41. El _____ utiliza un método de almacenamiento y reenvío para la entrega de correo.
    a. MHS
    b. FTAM
    c. DS
    d. CMIP
42. El protocolo para definir los servicios que gestiona un sistema basado en el modelo OSI se denomina _____.
    a. MHS
    b. FTAM
    c. DS
    d. CMIP
43. Un protocolo relacionado con la transferencia, gestión y acceso a archivos es _____.
    a. MHS
    b. FTAM
    c. DS
    d. CMIP
44. En MHS, el UA es _____
    a. el usuario
    b. un programa
    c. el espacio de disco para el almacenamiento
    d. el medio de transmisión
45. ¿En el método de cifrado y descifrado convencional, qué clave se conoce de forma pública?
    a. sólo Ke
    b. sólo Kd
    c. Ke y Kd
    d. ninguna

46. ¿En el método de cifrado y descifrado de clave pública, qué clave se conoce de forma pública?
    a. sólo Ke
    b. sólo Kd
    c. Ke y Kd
    d. ninguna
47. En el método de cifrado y descifrado de clave pública, sólo el receptor posee la _____.
    a. Ke
    b. Kd
    c. Ke y Kd
    d. ninguna de las anteriores
48. Se utiliza un método de cifrado en el que tanto el texto nativo como el cifrado tienen el mismo número de A, B, C, etc. Este método probablemente es de sustitución _____.
    a. monoalfabética
    b. polialfabética
    c. por transposición
    d. por rotación
49. Se utiliza un método de cifrado en el que el carácter Z siempre se sustituye por el carácter G. Este método probablemente es de sustitución _____.
    a. monoalfabética
    b. polialfabética
    c. por transposición
    d. por rotación
50. Se utiliza un método de cifrado en el que el texto nativo AAAAAA se convierte en el texto cifrado BCDEFG. Este método probablemente es de sustitución _____.
    a. monoalfabética
    b. polialfabética
    c. por transposición
    d. por rotación
51. Un método de cifrado utilizado por el gobierno de los EE.UU. para usos no militares y no clasificados es de _____.
    a. sustitución monoalfabética
    b. sustitución polialfabética
    c. sustitución por transposición
    d. el estándar de datos cifrados
52. En una permutación _____, el número de salidas es mayor que el número de entradas.
    a. directa
    b. comprimida
    c. expandida
    d. por rotación
53. El algoritmo RSA es la base de un método de cifrado _____.
    a. de clave pública
    b. de clave privada
    c. convencional
    d. denominativo
54. El éxito del método de cifrado RSA se debe a la dificultad de _____.
    a. encontrar Kp

    b. encontrar los factores primos de Kp
    c. encontrar N
    d. encontrar los factores primos de N
55. Los datos se comprimen utilizando punteros a las cadenas más frecuentemente utilizadas. Este método utiliza _____.
    a. codificación diferencial
    b. codificación Lempel-Ziv-Welch
    c. codificación Morse
    d. codificación con pérdida
56. Los datos se comprimen enviando sólo las diferencias entre dos marcos de vídeo. Este método utiliza _____.
    a. codificación diferencial
    b. codificación Lempel-Ziv-Welch
    c. codificación Morse
    d. codificación con pérdida
57. Una cadena de 100 ceros es sustituida por un marcador, un 0 y el número 1.000. Este método utiliza _____.
    a. codificación por longitud de ráfaga
    b. código Morse
    c. codificación diferencial
    d. codificación Lempel-Ziv-Welch
58. Un ejemplo de compresión con pérdida es _____.
    a. la codificación diferencial
    b. la codificación Lempel-Ziv-Welch
    c. la codificación por longitud de ráfaga
    d. JPEG

Ejercicios

59. Cifre el siguiente mensaje utilizando la sustitución monoalfabética con clave = 4.
    ESTE ES UN BUEN EJEMPLO
60. Descifre el siguiente mensaje utilizando una sustitución monoalfabética con clave = 4
    IRGVCTXMSR MW JYR
61. Descifre el siguiente mensaje utilizando una sustitución monoalfabética sin conocer la clave.
    KTIXEVZOUT OY ROCK KTIRUYOTM G YKIXKZ GT KTBKRUVK
62. Cifre el siguiente mensaje utilizando sustitución polialfabética. Utilice la posición de cada carácter como la clave.
    Uno más uno es dos, uno más dos es tres, uno más tres es cuatro
63. Cifre el siguiente patrón de bits utilizando el operador OR exclusivo y la clave dada.
    Texto nativo: 1001111111100001
    Clave: 1000111110001111
64. Utilice el texto cifrado del Ejercicio 63 para obtener el texto original.
65. Utilice el siguiente algoritmo de cifrado para cifrar el mensaje «BUEN DÍA»:
    a. Sustituya cada carácter por su código ASCII.
    b. Añada un bit 0 a la izquierda de cada carácter para obtener un carácter de 8 bits.
    c. Intercambie los cuatro primeros bits con los cuatro últimos bits.
    d. Sustituya cada cuatro bits por su equivalente hexadecimal.

66. Utilice el siguiente algoritmo de cifrado para cifrar el mensaje «ABCADEFGH» (considere que el mensaje siempre está compuesto por letras mayúsculas).
    a. Trate cada carácter como un número decimal que utiliza el código ASCII (entre 65 y 90).
    b. Reste 65 de cada carácter codificado.
    c. Convierta cada número en un patrón de cinco bits.
67. En los algoritmos de cifrado/descifrado tradicionales, una forma de crear e intercambiar una clave es el método conocido como Diffie-Hellman. En este método, dos partes utilizan los siguientes pasos para establecer una clave secreta entre ellas:
    a. Se intercambian dos números b y n. Estos dos números no son secretos.
    b. La primera parte elige un número, x_1 y calcula $y_1 = (b^{x_1} \% n)$ y envía y_1 a la segunda parte.
    c. La segunda parte elige un número, x_2 y calcula $y_2 = (b^{x_2} \% n)$ y envía y_2 a la primera parte.
    d. La primera parte elige $k = (y_2^{x_1} \% n)$ como la clave secreta.
    e. La segunda parte elige $k = (y_1^{x_2} \% n)$ como la clave secreta.

    Utilizando teoría de números, se puede demostrar que la clave secreta es la misma en ambas partes. Utilice $b = 3$, $n = 10$, $x_1 = 5$ y $x_2 = 11$ para encontrar la clave secreta en ambas partes y demuestre que son la misma.
68. Cifre y descifre el mensaje «BE» utilizando el algoritmo RSA con las claves $K_p = 3$ y $K_s = 11$. Utilice $N = 15$.
69. Dados los dos números primos $p = 19$ y $q = 23$, intente encontrar N, K_p y K_s.
70. Para comprender la seguridad del algoritmo RSA encuentre K_s si conoce que $K_p = 17$ y $N = 187$.
71. En el algoritmo RSA, se utiliza ($C = P^{K_p} \% N$) para cifrar un número. Si K_p y N son números muy grandes (cada uno con cientos de dígitos), el cálculo es imposible y da lugar a un desbordamiento incluso en un supercomputador. Una solución (no la mejor) que utiliza la teoría de números involucra varios pasos, en el que cada paso utiliza el resultado del anterior:
    a. $C = 1$
    b. Repita K_p veces
       $C = (C \times P) \% N$

    De esta forma, se puede escribir un programa que calcule C utilizando un bucle. Por ejemplo $6^5 \% 119$, que es 41, se puede calcular de la siguiente forma:
    a. $(1 \times 6) \% 119 = 6$
    b. $(6 \times 6) \% 119 = 36$
    c. $(36 \times 6) \% 119 = 97$
    d. $(97 \times 6) \% 119 = 106$
    e. $(106 \times 6) \% 119 = 41$

    Utilice este método para calcular $227^{16} \% 100$.

CAPÍTULO 24

Conjunto de protocolos TCP/IP: parte 1

El **Protocolo de control de transmisión/protocolo entre redes (TCP/IP)** es un conjunto de protocolos que definen cómo se intercambian todas las transmisiones a través de Internet. Su denominación proviene de sus dos protocolos más populares, TCP/IP, y se está utilizando desde hace muchos años, demostrando su efectividad a gran escala.

24.1. VISIÓN DE TCP/IP

En 1969, la **Agencia de proyectos de investigación avanzada (ARPA),** perteneciente al Departamento de Defensa de los EE.UU., financió un proyecto. ARPA estableció una red de conmutación de paquetes de computadoras conectadas mediante líneas punto a punto alquiladas denominada **Red de la agencia de proyectos de investigación avanzada (ARPANET),** que proporcionó la base para las primeras investigaciones en interconexión de redes. Las convenciones desarrolladas por ARPA para especificar la forma en la que computadoras individuales podían comunicarse a través de la red se convirtió en TCP/IP.

TCP/IP e Internet

TCP/IP y el concepto de interconexión de redes se han desarrollado juntos, cada uno dando forma al crecimiento del otro. Antes de entrar en detalle en los protocolos, sin embargo, es necesario comprender cómo se relaciona TCP/IP con la entidad física de cualquier internet a la que sirve.

Una internet bajo TCP/IP opera como una única red que conecta muchas computadoras de cualquier tamaño y forma. Internamente, una internet (o, más específicamente, Internet) es una interconexión de redes físicas independientes (como LAN) conectadas jutas por dispositivos de interconexión de redes. La Figura 24.1 muestra la topología de una internet posible. En este ejemplo, las letras A, B, C y otras, representan estaciones. Una **estación** en TCP/IP es una computadora. Los círculos sólidos de las figuras, numerados como 1, 2, 3, etc., son encaminadores o pasarelas. Los óvalos más grandes que contienen números romanos (I, II, III, etc.) representan distintas redes físicas.

Para TCP/IP, la misma internet parece bastante diferente (véase de nuevo la Figura 24.1). TCP/IP considera a todas las redes físicas interconectadas como una enorme red. Considera que todas las estaciones están conectadas a esta gran red lógica en lugar de a sus respectivas redes físicas.

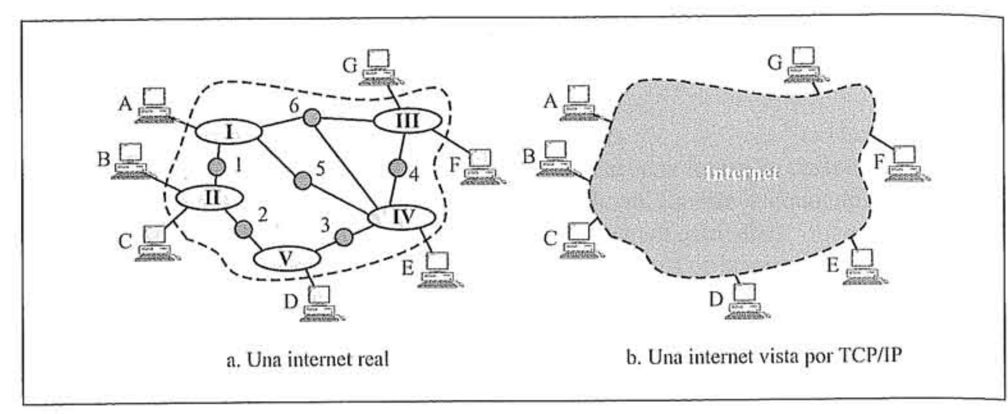


Figura 24.1. *Una internet de acuerdo a TCP/IP.*

TCP/IP y OSI

El **Protocolo de control de transmisión (TCP)** fue desarrollado antes que el modelo OSI. Por tanto, los niveles del protocolo TCP/IP no coinciden exactamente con los del modelo OSI. El protocolo TCP/IP consta de cinco niveles: físico, de enlace de datos, de red, de transporte y de aplicación. El nivel de aplicación en TCP/IP se puede considerar como una combinación de los niveles de sesión, de presentación y de aplicación del modelo OSI.

En el nivel de transporte, TCP/IP define dos protocolos: TCP y **el Protocolo de datagramas de usuario (UDP).** En el nivel de red, el principal protocolo definido por TCP/IP es el **Protocolo entre redes (IP),** aunque hay algunos otros protocolos que soportan la transferencia de datos en este nivel.

En los niveles físico y de enlace de datos, TCP/IP no define ningún protocolo específico. Soporta todos los protocolos estándares y propietarios descritos anteriormente en este libro. Una red en TCP/IP puede ser una red de área local (LAN), una red de área metropolitana (MAN) o una red de área amplia (WAN).

Encapsulado

La Figura 24.2 muestra el encapsulado de las unidades de datos en niveles diferentes del conjunto de protocolos TCP/IP. La unidad de datos creada en el nivel de aplicación se denomina *mensaje*. TCP o UDP crea una unidad de datos denominada **segmento** o **datagrama de usuario.** El nivel IP a su vez crea una unidad de datos denominada **datagrama.** La transferencia de datagramas a través de Internet es responsabilidad del protocolo TCP/IP. Sin embargo, para ser capaz de transferirlo físicamente de una red a otra, el datagrama debe encapsularse en una trama en el nivel de enlace de datos de la red subyacente y finalmente ser transmitido por el medio de transmisión.

24.2. NIVEL DE RED

En el nivel de red (o, más precisamente, nivel de redes interconectadas), TCP/IP ofrece el protocolo entre redes (IP). IP, a su vez, contiene cuatro protocolos: ARP, RARP, ICMP e IGMP. Cada uno de estos protocolos se describe en detalle a continuación.

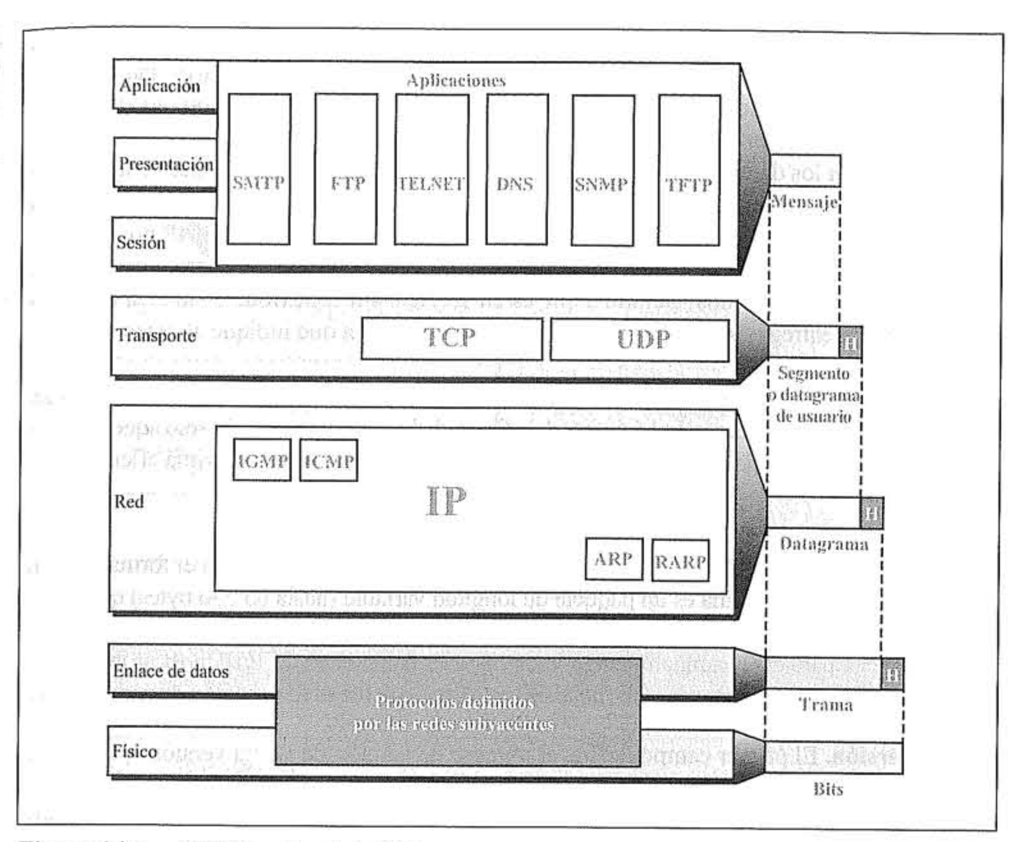


Figura 24.2. *TCP/IP y el modelo OSI.*

Protocolo IP

IP es el mecanismo de transmisión utilizado por los protocolos TCP/IP. Es un protocolo basado en datagramas sin conexión y no fiable –ofrece un servicio de mejor entrega posible. Por *mejor entrega posible* lo que se quiere indicar es que IP no ofrece comprobaciones ni seguimientos. IP asume que los niveles subyacentes no son fiables e intenta que la transmisión llegue a su destino lo mejor que puede, pero sin ofrecer garantías. Como se ha visto en los capítulos anteriores, las transmisiones a través de redes físicas pueden ser destruidas debido a varias razones. El ruido puede causar errores en los bits durante la transmisión por el medio; un encaminador congestionado puede descartar un datagrama si es incapaz de retransmitirlo antes de que se supere un límite de tiempo; el encaminamiento puede hacer que los datagramas entre en un bucle y sean destruidos al final, y los enlaces desactivados pueden hacer que no haya camino para alcanzar al destino.

Si la fiabilidad es importante, IP debe ser utilizado con un protocolo fiable como TCP. Un ejemplo muy conocido de servicio de mejor entrega posible es el servicio postal. El servicio postal hace lo posible para entregar el correo, pero no siempre se realiza con éxito. Si se pierde una carta no registrada, es responsabilidad del emisor o del receptor descubrir la pérdida y rectificar el problema. El servicio postal no realiza un seguimiento de cada carta y no puede notificar al emisor de la pérdida o del daño. Un ejemplo de situación familiar a la uti-

lización de IP con un protocolo que contiene funciones de fiabilidad es el envío de una carta con acuse de recibo. En este caso cuando se entrega la carta, se envía al emisor una notificación indicando el éxito de la entrega. Si el emisor nunca recibe la notificación, puede asumir que la carta se ha perdido y enviar otra copia.

IP transporta los datos en paquetes denominados datagramas (descritos más abajo), cada uno de los cuales es transportado de forma independiente. Los datagramas pueden viajar a través de encaminadores diferentes y llegar fuera de secuencia o duplicados. IP no se encarga de realizar un seguimiento de los encaminadores ni ofrece facilidades para reordenar los datagramas una vez recibidos. Debido a que es un servicio sin conexión, IP no crea circuitos virtuales para la entrega. No hay un establecimiento de llamada que indique al receptor la llegada de una transmisión.

La funcionalidad limitada de IP no debería ser considerada como una debilidad, sin embargo. IP ofrece funciones de transmisión básicas y deja libertad al usuario para añadir sólo aquellas facilidades necesarias para una aplicación concreta, permitiendo por tanto una máxima eficiencia.

Datagramas

Los paquetes en el nivel IP se denominan datagramas. La Figura 24.3 muestra el formato de un **datagrama IP.** Un datagrama es un paquete de longitud variable (hasta 65.536 bytes) que consta de dos partes: una cabecera y datos. La cabecera puede incluir de 20 a 60 bytes y contiene información esencial para el encaminamiento y la entrega. Es habitual en TCP/IP mostrar la cabecera en secciones de cuatro bytes. A continuación se realiza una breve descripción de cada campo:

- **Versión.** El primer campo define el número de versión de IP. La versión actual es la 4 (**IPv4**), con un valor binario de 0100.
- **Longitud de la cabecera.** Este campo define la longitud de la cabecera en múltiplos de cuatro bytes. Cuatro bits pueden representar un número entre 0 y 15, que cuando se multiplica por 4 da un máximo de 60 bytes.
- **Tipo de servicio.** Este campo define la forma en la que se debería manejar el datagrama. Incluye bits que definen la prioridad del datagrama. También contiene bits que especifican el tipo de servicio que el emisor desea como el nivel de prestaciones, fiabilidad y retardo.
- **Longitud total.** El campo con la longitud total define la longitud total del datagrama IP. Es un campo de dos bytes (16 bits) que puede definir hasta 65.535 bytes.
- **Identificación.** Este campo se utiliza en la **fragmentación.** Un datagrama, cuando pasa a través de redes diferentes, puede dividirse en fragmentos que coincidan con el tamaño de la trama de red. Cuando esto ocurre, cada fragmento es identificado con un número de secuencia en este campo.
- **Indicadores.** Los bits de este campo están relacionados con la fragmentación (el datagrama puede estar o no fragmentado; puede ser el primero, el último fragmento, etc.).
- **Desplazamiento del fragmento.** El desplazamiento del fragmento es un puntero que muestra el desplazamiento de los datos en el datagrama original (si se fragmenta).
- **Tiempo de vida.** El campo tiempo de vida define el número de saltos que un datagrama puede dar antes de que sea descartado. La estación origen, cuando crea el datagrama, fija este campo a un valor inicial. A medida que el datagrama viaja por la red, cada encaminador disminuye este valor en 1. Si el valor se hace 0 antes de que el datagrama haya alcanzado el destino final, se descarta el datagrama. Esto evita que un datagrama vuelva o viaje de forma indefinida entre encaminadores.

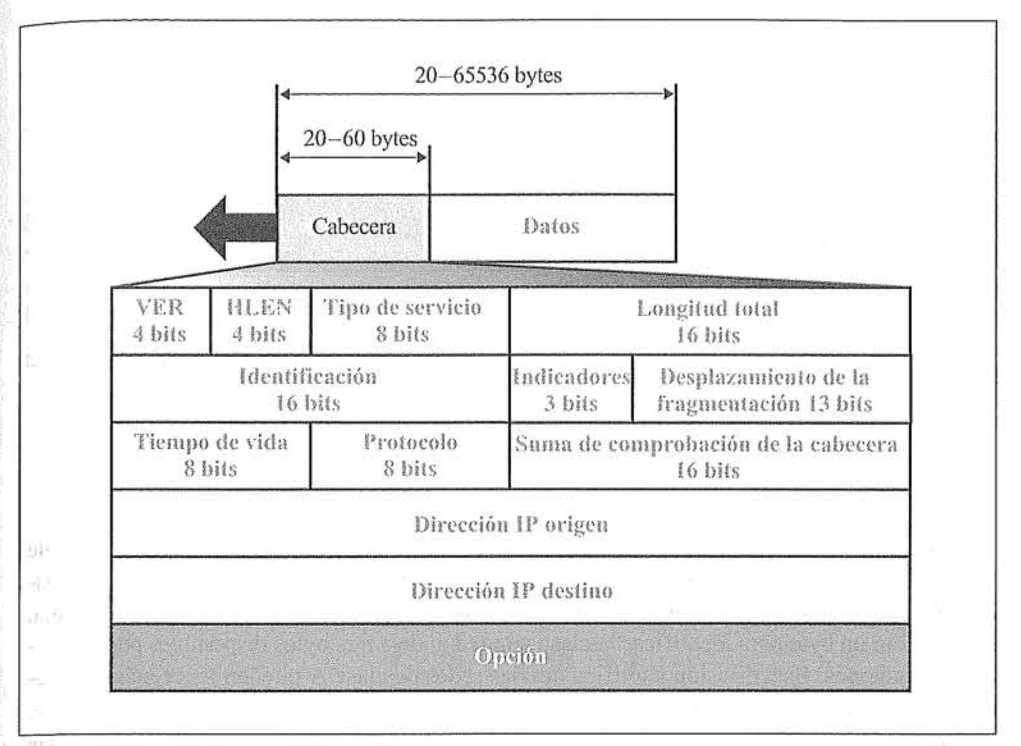


Figura 24.3. *Datagrama IP.*

- **Protocolo.** Este campo define el protocolo de nivel superior que se encuentra encapsulado en el datagrama (TCP, UDP, ICMP, etc.).
- **Suma de comprobación de la cabecera.** Este campo de 16 bits se utiliza para comprobar la integridad de la cabecera, no del resto del paquete.
- **Dirección origen.** El campo con la dirección origen es una dirección Internet de 4 bytes (32 bits). Identifica el origen del datagrama.
- **Dirección destino.** Este campo es una dirección Internet de cuatro bytes (32 bits) que identifica el destino del datagrama.
- **Opciones.** El campo opciones ofrece más funcionalidad al datagrama IP. Puede transportar datos que controlan el encaminamiento, la temporización, la gestión y el alineamiento.

24.3. DIRECCIONAMIENTO

Además de la dirección física (contenida en la interfaz de red) que identifica el dispositivo individual, Internet requiere una convención en el direccionamiento: una dirección que identifique la conexión de una estación a la red.

Cada **dirección Internet** costa de cuatro bytes (32 bits), que definen tres campos: la clase, el identificador de la red y el identificador de la estación. Estas partes son de longitud variable dependiendo de las clases de direcciones (véase la Figura 24.4).

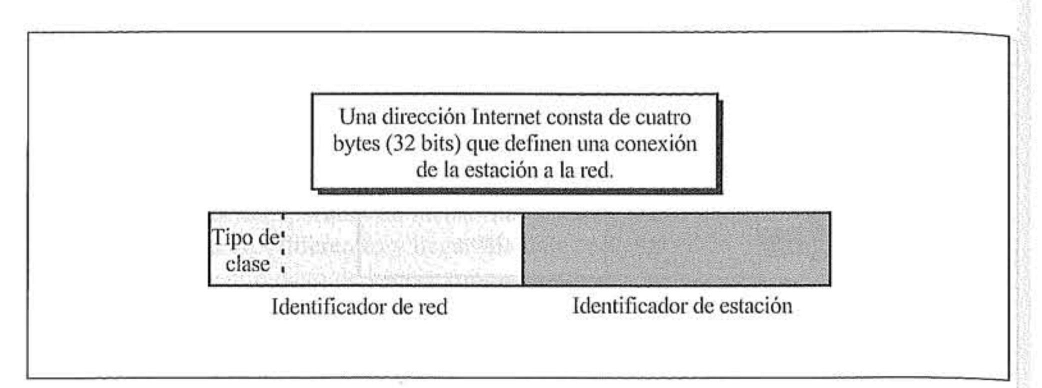


Figura 24.4. *Dirección Internet.*

Clases

Actualmente hay cinco patrones diferentes en uso, cada uno de los cuales define una **clase de dirección.** Estas clases están diseñadas para cubrir las necesidades de tipos diferentes de organizaciones. Por ejemplo, una dirección de clase A son las que tienen la numeración más baja. Sólo utilizan un byte para identificar la clase y la red, y deja tres bytes disponibles para números de estaciones. Esta división significa que las redes de clase A pueden tener más estaciones que las redes de clase B y C, que ofrecen campos de dos y de tres bits, respectivamente, para los identificadores de las estaciones. Actualmente las clases A y B están llenas. Sólo hay direcciones disponibles en la clase C.

La clase D se reserva para **direcciones de multienvío.** El **multienvío** permite que copias de un datagrama puedan enviarse a un grupo de estaciones en lugar de a una estación individual. Es similar a la **difusión,** pero la difusión requiere que el paquete llegue a todos los destinos posibles. El multienvío permite la transmisión a un subconjunto seleccionado. Las direcciones de clase E se han reservado para uso futuro. La Figura 24.5 muestra la estructura de cada una de las clases de direcciones IP.

Ejemplo 24.1

¿Cuál es la clase a la que pertenece cada una de las siguientes direcciones?

a. 10011101 10001111 11111100 11001111
b. 11011101 10001111 11111100 11001111
c. 01111011 10001111 11111100 11001111
d. 11101011 10001111 11111100 11001111
e. 11110101 10001111 11111100 11001111

Solución

Los primeros bits definen la clase:

a. Clase B
b. Clase C
c. Clase A
d. Clase D
e. Clase E

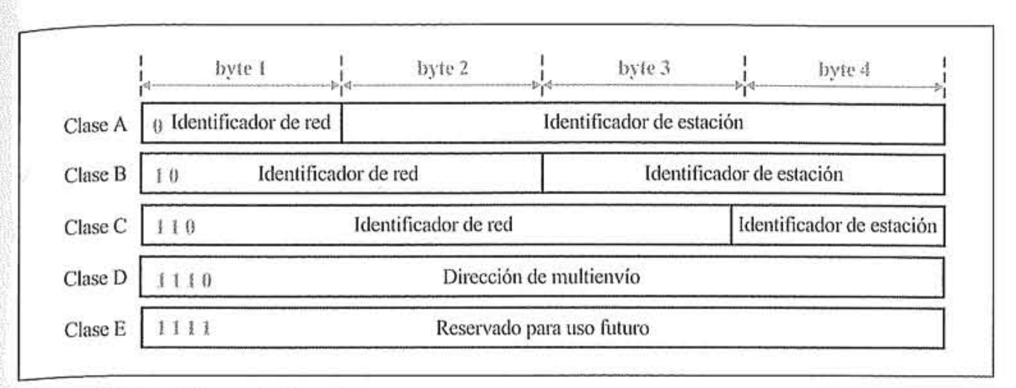


Figura 24.5. *Clases de direcciones.*

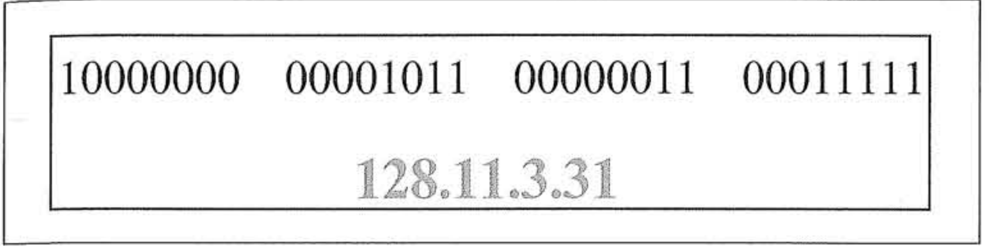


Figura 24.6. *Dirección IP en notación decimal.*

Notación decimal-punto

Para que el formato de 32 bits sea más corto y fácil de leer, las direcciones de Internet normalmente se escriben en formato decimal con puntos que separan los bytes –**notación decimal con puntos.** La Figura 24.6 muestra el patrón de bits y el formato decimal de una posible dirección.

Mirando el primer byte de una dirección en formato decimal se puede determinar a qué clase pertenece la dirección (véase la Figura 24.7).

Ejemplo 24.2

Escriba cada una de las siguientes direcciones en formato decimal-punto:

a. 10011101 10001111 11111100 11001111
b. 11011101 10001111 11111101 00001111
c. 01011101 00011111 00000001 11110101
d. 11111101 10001010 00001111 00111111
e. 11111110 10000001 01111110 00000001

Solución

Cada byte se convierte a un número decimal entre 0 y 255.

a. 157.143.252.207
b. 221.143.253.15

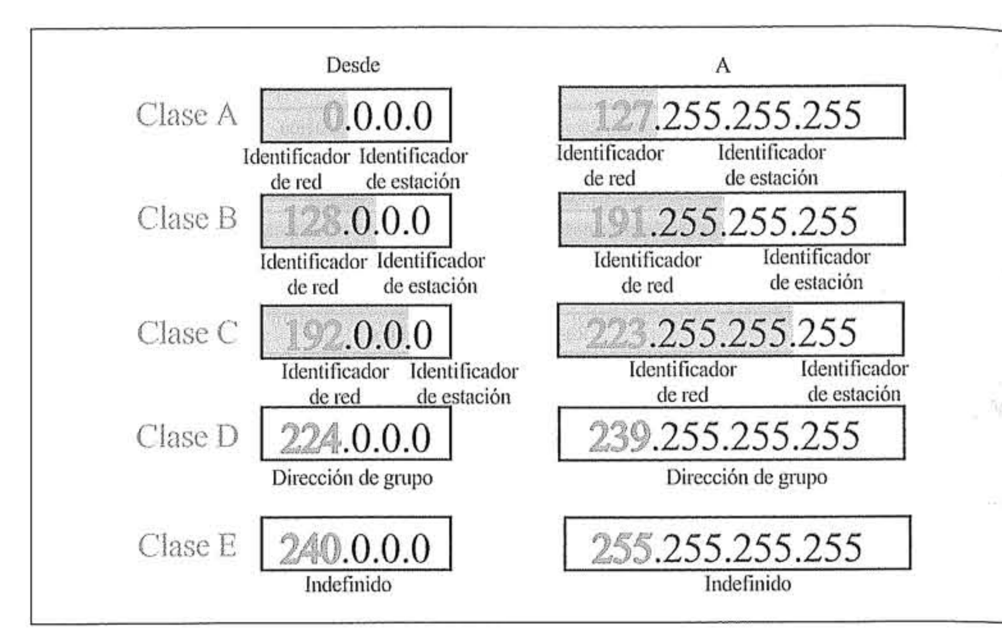


Figura 24.7. *Rangos de direcciones Internet.*

c. 93.31.1.245
d. 253.138.15.63
e. 254.129.126.1

Ejemplo 24.3

Encuentre la clase de cada dirección:

a. 4.23.145.90
b. 227.34.78.7
c. 246.7.3.8
d. 29.6.8.4
e. 198.76.9.23

Solución

El primer byte define la clase.

a. Clase A
b. Clase D
c. Clase E
d. Clase B
e. Clase C

Ejemplo 24.4

Encuentre el identificador de la red y la estación para cada dirección:

a. 4.23.145.90
b. 227.34.78.7

c. 246.7.3.8
d. 129.6.8.4
e. 198.76.9.23

Solución

Encuentre la clase y el identificador de red y de estación.

a. Clase A, red: 4 estación: 23.145.90
b. Clase D, ninguna estación o red
c. Clase E, ninguna estación o red
d. Clase B, red: 129.6 estación: 8.4
e. Clase B, red: 198.76.9 estación: 23

Ejemplo 24.5

Encuentre la dirección de red de cada dirección:

a. 4.23.145.90
b. 227.34.78.7
c. 246.7.3.8
d. 129.6.8.4
e. 198.76.9.23

Solución

Se encuentra primero la clase y, a continuación, la dirección de red:

a. Clase A, dirección de red: 4.0.0.0
b. Clase D, sin dirección de red
c. Clase E, sin dirección de red
d. Clase B, dirección de red: 129.6.0.0
e. Clase C, dirección de red: 198.76.9.0

Nodos con más de una dirección

Como ya se ha indicado, una dirección internet define la conexión del nodo a su red. Por tanto, cualquier dispositivo conectado a más de una red (por ejemplo, un encaminador) debe tener más de una dirección internet. En realidad, un dispositivo tiene una dirección diferente para cada red a la que se encuentra conectado.

Una internet de ejemplo

Una dirección internet especifica la red a la que se conecta la estación (**dirección de red**) y la estación (**dirección de estación**). La Figura 24.8 muestra una porción de Internet compuesta de LAN (tres son Ethernet y una es una red en anillo con paso de testigo). Los encaminadores se indican mediante círculos que contienen una E. Las pasarelas se representan mediante cajas que contienen una P. Cada uno de ellos tiene una dirección diferente para cada una de las redes a las que se conecta. La figura también muestra la dirección de la red en color. Una dirección de red es el identificador de la red con la parte correspondiente a la dirección de la estación puesta a 0. Las direcciones de red en la figura son 129.8.0.0 (clase B), 124.0.0.0 (clase A), 134.18.0.0 (clase B) y 220.3.6.0 (clase C).

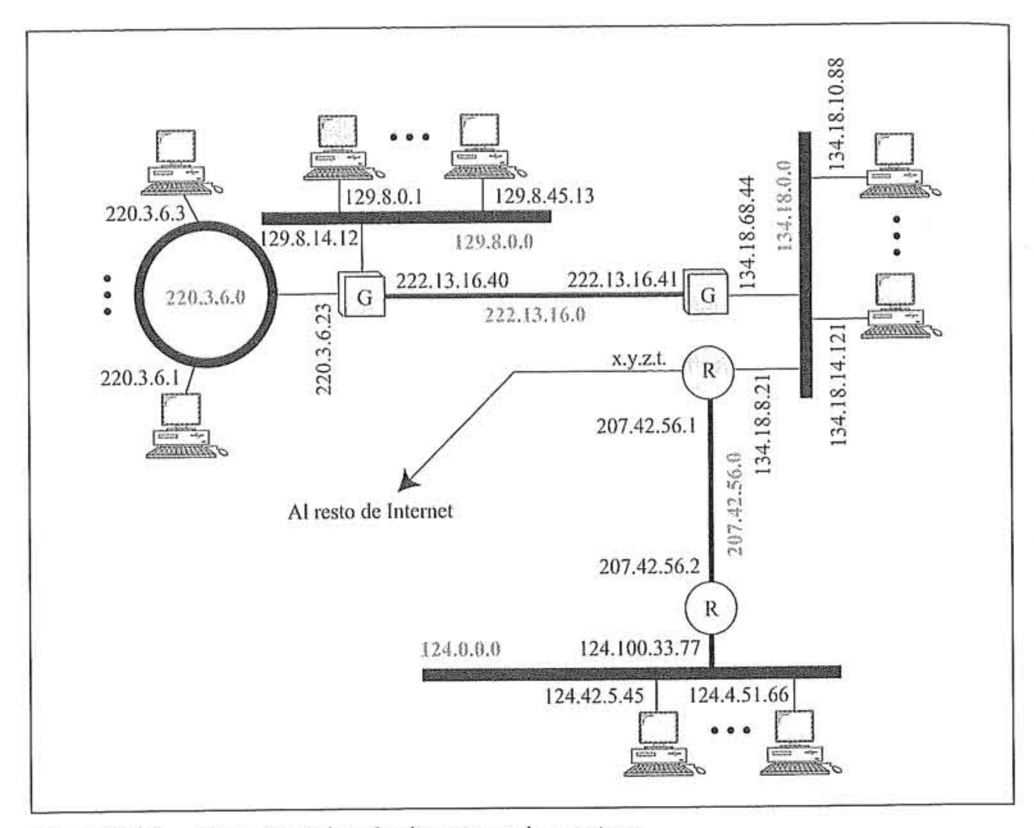


Figura 24.8. *Direcciones de red y direcciones de estaciones.*

24.4. SUBREDES

Como se discutió anteriormente, una **dirección IP** tiene 32 bits. Una porción de la red indica la dirección de la red (identificador de red) y la otra porción indica la estación (o encaminador) en la red (identificador de estación). Esto significa que exista una jerarquía en el direccionamiento IP. Para alcanzar una estación en Internet, se debe primero alcanzar la red que utiliza la primea porción de la dirección. A continuación se debe alcanzar la estación utilizando la segunda porción de la dirección (identificador de estación). En otras palabras, las direcciones IP de las clases A, B y C están diseñadas con dos niveles de jerarquía.

Sin embargo, en muchos casos, estos dos niveles de jerarquía no son suficientes. Por ejemplo, considere una organización con una dirección de clase B. La organización tiene un direccionamiento jerárquico con dos niveles, pero no puede tener más de una dirección física (véase la Figura 24.9).

Con este esquema, la organización se encuentra limitada a dos niveles de jerarquía. Las estaciones no pueden organizarse en grupos, y todas ellas se encuentran situadas al mismo nivel. La organización tiene una red con muchas estaciones.

Una solución en este problema son las **subredes**, una división de una red en pequeñas redes denominadas: **subredes**. Por ejemplo, la Figura 24.10 muestra la red de la Figura 24.9 dividida en tres subredes.

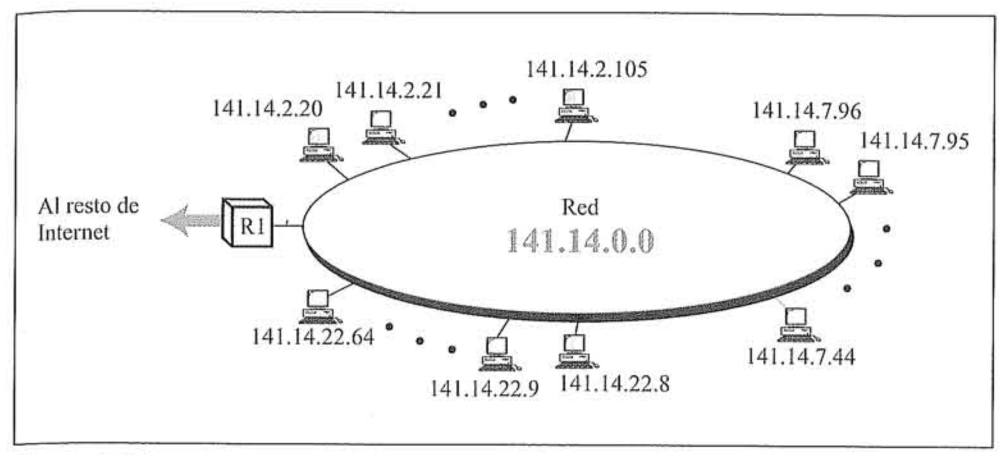


Figura 24.9. *Una red con dos niveles de jerarquía (sin subredes).*

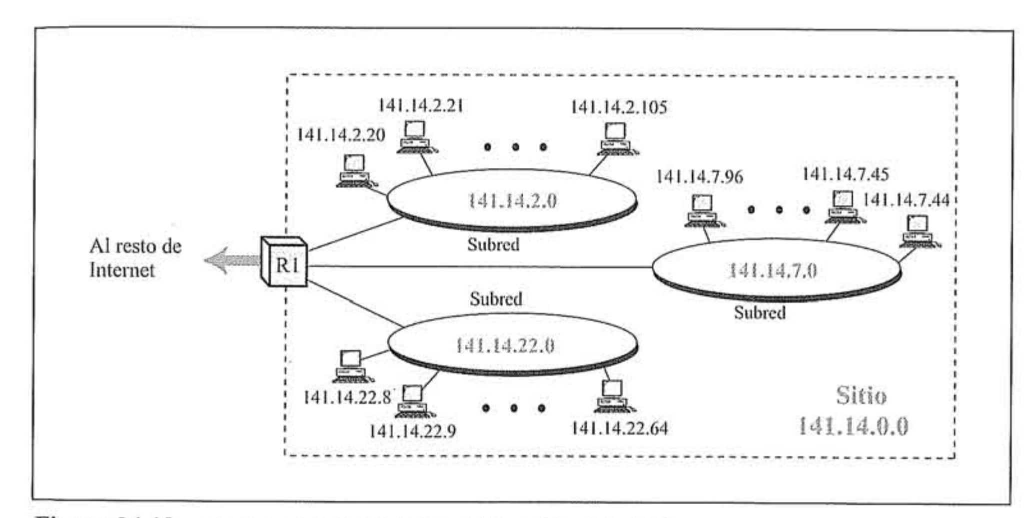


Figura 24.10. *Una red con tres niveles de jerarquía (subredes).*

En este ejemplo, el resto de la Internet no se preocupa de si la red se encuentra dividida en tres subredes físicas: las tres subredes aparecen como una única red al resto de Internet. Un paquete destinado a la estación 141.14.2.21 sigue alcanzando al encaminador R1. La dirección destino del datagrama IP sigue siendo una dirección de clase B donde 141.14 define la red y 2.21 el identificador de estación.

Sin embargo, cuando el paquete llega al encaminador R1, la interpretación de la dirección IP cambia. El encaminador R1 sabe que la red 141.14 se divide físicamente en tres subredes. Sabe que los dos últimos octetos definen dos cosas: el identificador de subred y el de estación. Por tanto, 2.21 debe interpretarse como la subred 2 y la estación 21. El encaminador R1 utiliza los dos primeros octetos (114.14) como identificador de red, el tercer octeto (2) como el identificador de subred y el cuarto octeto (21) como el identificador de estación.

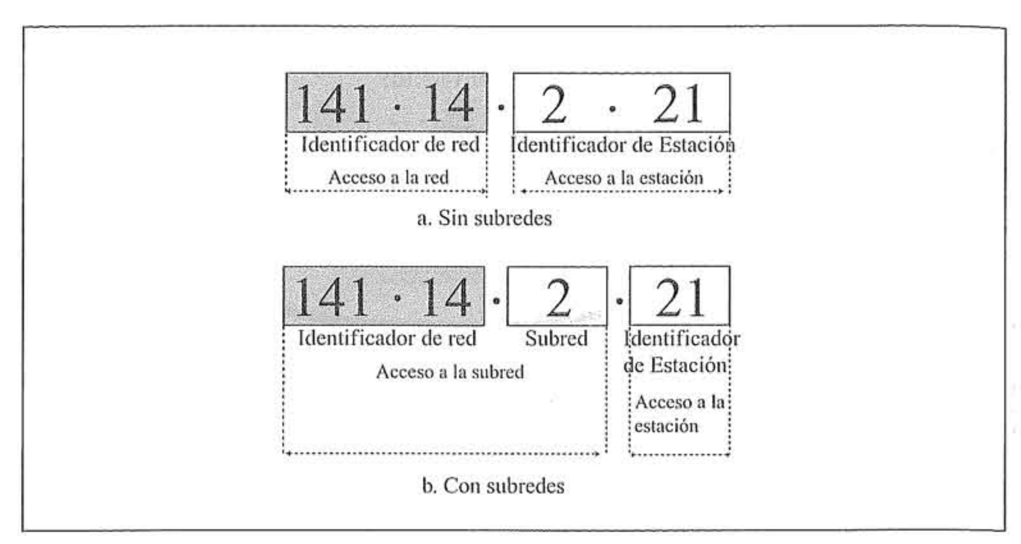


Figura 24.11. *Direcciones en una red con y sin subredes.*

Tres niveles de jerarquía

Añadir subredes crea un nivel intermedio de jerarquía en el sistema de direccionamiento IP. Ahora se tienen tres niveles: el identificador de red, el de subred y el de estación. El identificador de red es el primer nivel; define el sitio. El segundo nivel es el identificador de subred; define la subred física. El identificador de estación es el tercer nivel; define la conexión de la estación a la subred. Véase la Figura 24.11.

El encaminamiento de un datagrama IP ahora involucra tres etapas: entrega al sitio, entrega a la subred y entrega a la estación.

Enmascaramiento

El **enmascaramiento** es el proceso que extrae la dirección de la red física de una dirección IP. El enmascaramiento puede realizarse con o sin subredes. Si no se tienen subredes, el enmascaramiento extrae la dirección de red a partir de una dirección IP. Si se tienen subredes, el enmascaramiento extrae la **dirección de la subred** a partir de la dirección IP (véase la Figura 24.12).

Enmascaramiento sin subredes

Para ser compatibles, los encaminadores utilizan enmascaramiento incluso aunque no haya subredes. Las máscaras para las redes que no son subredes se definen en la Tabla 24.1.

Máscaras con subredes

Cuando hay subredes, la máscara puede variar. La Tabla 24.2 muestra algunos ejemplos de máscaras utilizadas por subredes.

Cómo encontrar la dirección de una subred

Para encontrar la dirección de una subred, se aplica la máscara a la red IP.

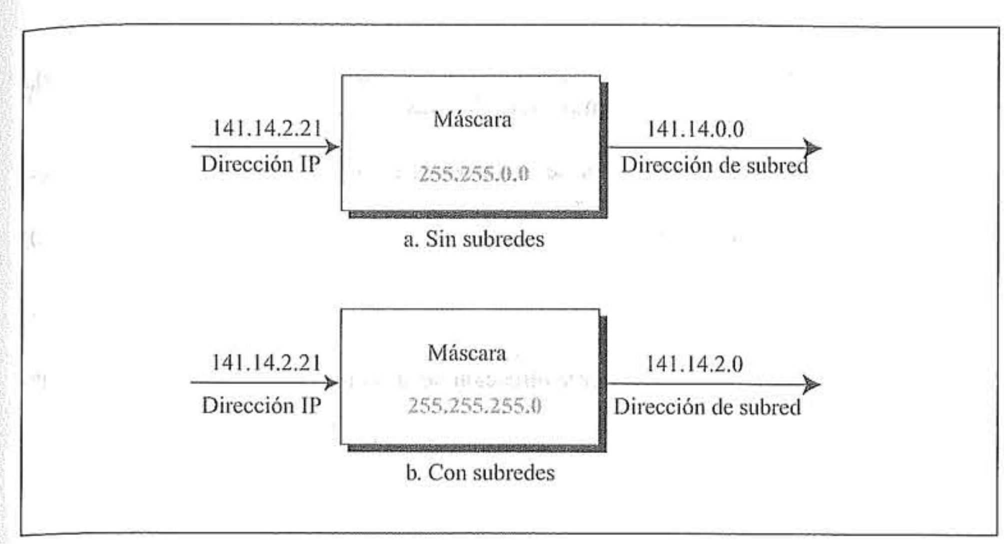


Figura 24.12. *Enmascaramiento.*

Tabla 24.1. *Máscara para redes sin subredes*

Clase	*Máscara*	*Dirección (Ejemplo)*	*Dirección de red (Ejemplo)*
A	255.0.0.0	15.32.56.7	15.0.0.0
B	255.255.0.0	135.67.13.9	135.67.0.0
C	255.255.255.0	201.34.12.72	201.34.12.0
D	N/A	N/A	N/A
E	N/A	N/A	N/A

Tabla 24.2. *Máscara para redes con subredes*

Clase	*Máscara*	*Dirección (Ejemplo)*	*Dirección de red (Ejemplo)*
A	255.255.0.0	15.32.56.7	15.32.0.0
B	255.255.255.0	135.67.13.9	135.67.13.0
C	255.255.255.192	201.34.12.72	201.34.12.64
D	N/A	N/A	N/A
E	N/A	N/A	N/A

Enmascaramiento a nivel de frontera

Si el enmascaramiento se realiza a nivel de frontera (los números de la máscara son 255 o 0), encontrar la dirección de la subred es muy fácil. Siga las siguientes reglas:

1. Los bytes de la dirección IP que se corresponden con 255 en la máscara serán repetidos en la dirección de la subred.
2. Los bytes de la dirección IP que se correspondan con 0 en la máscara cambiarán a 0 en la dirección de la subred.

Ejemplo 24.6

A continuación se muestra cómo obtener la dirección de la subred a partir de una dirección IP:

Dirección IP	45	·	23	·	21	·	8
Máscara	255	·	255	·	0	·	0
Dirección de la subred	45	·	23	·	0	.	0

Ejemplo 24.7

A continuación se muestra cómo obtener la dirección de la subred a partir de una dirección IP:

Dirección IP	173	·	23	·	21	·	8
Máscara	255	·	255	·	255	·	0
Dirección de la subred	173	·	23	·	21	·	0

Enmascaramiento sin frontera

Si el enmascaramiento no se realiza a nivel de frontera (los números de la máscara no son sólo 255 o 0), encontrar la dirección de la subred involucra el uso del operador AND. Siga las siguientes reglas:

1. Los bytes de la dirección IP que se correspondan con 255 en la máscara serán repetidos en la dirección de la subred.
2. Los bytes de la dirección IP que se correspondan con 0 en la máscara cambiarán a 0 en la dirección de la subred.
3. Para el resto de bytes, se utiliza el operador lógico AND.

Ejemplo 24.8

A continuación se muestra cómo obtener la dirección de la subred a partir de una dirección IP:

Dirección IP	45	·	123	·	21	·	8
Máscara	255	·	192	·	0	·	0
Dirección de la subred	45	·	64	·	0	·	0

Como se puede ver, tres bytes son fáciles de determinar. Sin embargo, el segundo byte necesita el operador binario AND. La operación binaria AND es muy simple. Si dos bits son 1, el resultado es 1; en caso contrario el resultado es 0.

123	0 1 1 1 1 0 1 1
192	1 1 0 0 0 0 0 0
64	0 1 0 0 0 0 0 0

Ejemplo 24.9

A continuación se muestra cómo obtener la dirección de la subred a partir de una dirección IP:

Dirección IP	213	·	23	·	47	·	37
Máscara	255	·	255	·	255	·	240
Dirección de la subred	213	·	23	·	47	·	32

Como se puede ver, tres bytes son fáciles de determinar. Sin embargo, el segundo byte necesita el operador binario AND. La operación binaria AND es muy simple. Si dos bits son 1, el resultado es 1; en caso contrario el resultado es 0.

37	0 0 1 0 0 1 0 1
240	1 1 1 1 0 0 0 0
32	0 0 1 0 0 0 0 0

24.5. OTROS PROTOCOLOS EN EL NIVEL DE RED

TCP/IP dispone de otros protocolos en el nivel de red: ARP, RARP, ICMP y IGMP.

Protocolo de resolución de direcciones (ARP)

El **protocolo de resolución de direcciones (ARP,** *Address Resolution Protocol*) asocia una dirección IP con una dirección física. En una red física típica, como una LAN, cada dispositivo conectado a un enlace se encuentra identificado mediante una dirección física normalmente impresa en la tarjeta de interfaz de red (NIC).

Las direcciones físicas tienen jurisdicción local y pueden cambiarse fácilmente. Por ejemplo, si la NIC de una máquina falla, cambia la dirección física. La dirección IP, por su parte, tiene jurisdicción universal y no puede cambiar. ARP se utiliza para encontrar la dirección física del nodo a partir de su dirección Internet.

En el momento en el que una estación o un encaminador necesita encontrar la dirección física de otra estación en su red, prepara un paquete de petición ARP que incluye la dirección IP y difunde dicho paquete por la red (véase la Figura 24.13). Todas las estaciones de la red reciben y procesan el paquete ARP, pero sólo el receptor con dicha dirección IP reconoce la dirección y envía su dirección física. La estación que almacena el datagrama añade la dirección de la estación destino a su memoria cache y a la cabecera del datagrama y, a continuación, envía el datagrama a su destino.

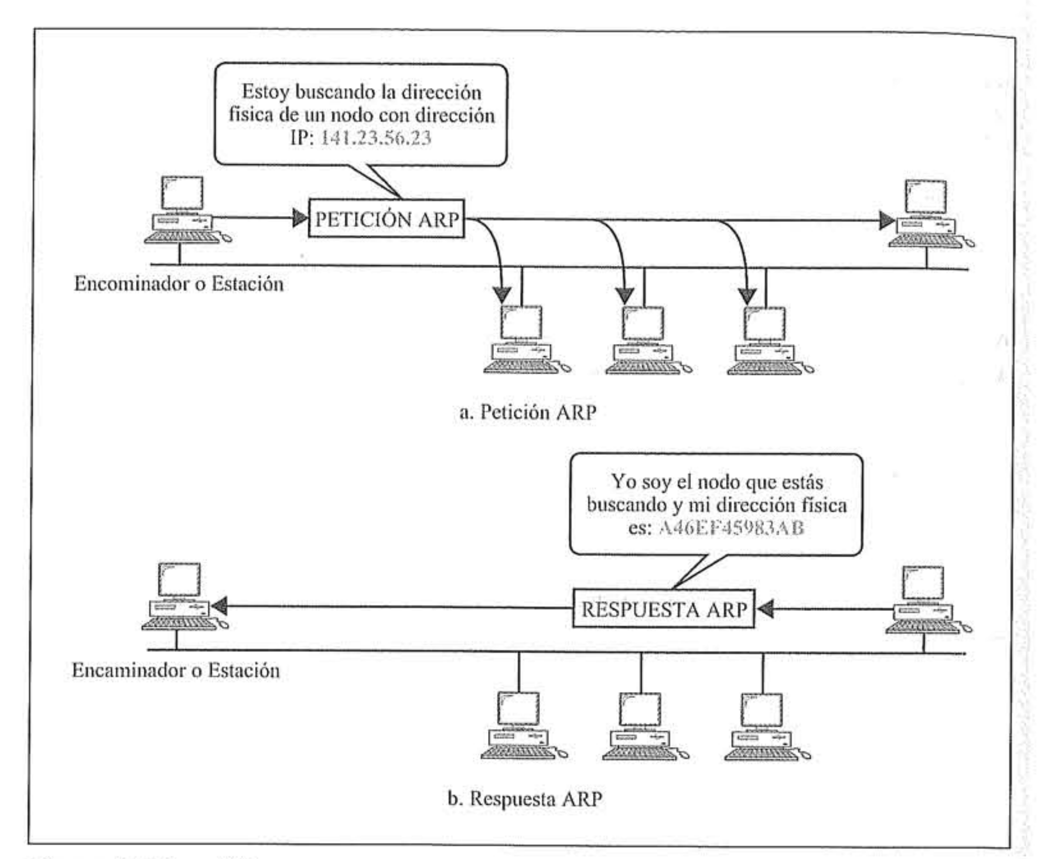


Figura 24.13. *ARP.*

Protocolo de resolución inversa de direcciones (RARP)

El **protocolo de resolución inversa de direcciones (RARP,** *Reverse Address Resolution protocol*) permite a una estación descubrir su dirección internet cuando sólo conoce su dirección física. La cuestión aquí es, ¿por qué se necesita el protocolo RARP? ¡Se supone que una estación tiene su dirección internet almacenada en su disco duro!

Respuesta: cierto, cierto. Pero, ¿que ocurre si la computadora no tiene disco? ¿O qué ocurre si la computadora se está conectando a la red por primera vez (cuando se está arrancando)? ¿O qué ocurre si compra una nueva computadora y decide mantener la vieja NIC?

RARP funciona de manera similar a ARP. La estación que desea recuperar su dirección interna difunde un paquete de petición RARP que contiene su dirección física a todos las estaciones de su red física. Un servidor en la red reconoce el paquete RARP y devuelve la dirección internet de la estación.

Protocolo de mensajes de control de internet (ICMP)

El **Protocolo de mensajes de control de internet (ICMP,** *Internet Control Message protocol*) es un mecanismo utilizado por las estaciones y los encaminadores para enviar notificaciones sobre datagramas con problemas de vuelta al emisor.

Como se vio anteriormente, IP es esencialmente un protocolo sin conexión no fiable. ICMP, sin embargo, permite a IP informar al emisor si un datagrama no se ha entregado. Un datagrama viaja de encaminador a encaminador hasta que alcanza uno que puede entregarlo a su destino final. Si el encaminador es incapaz de encaminar o entregar el datagrama debido a condiciones inusuales (enlaces desactivados o dispositivos apagados) o debido a la congestión de la red, ICMP permite informar al emisor original.

ICMP utiliza un esquema de prueba/respuesta de eco para probar si un destino es alcanzable y está respondiendo. También maneja los mensajes de error y de control, pero su única función es informar de problemas, no corregirlos. La responsabilidad de la corrección cae en el emisor.

Observe que un datagrama transporta solo la dirección del emisor original y del destino final. No sabe la dirección de los encaminadores anteriores por los que ha pasado. Por esta razón, ICMP puede enviar mensajes solo al origen, no a un encaminador intermedio.

Protocolo de mensajes de grupos de internet (IGMP)

El protocolo IP puede estar involucrado en dos tipos de comunicación: unidestino y multienvío. La comunicación unidestino se realiza entre un emisor y un receptor. Es una comunicación uno a uno. Sin embargo, en algunas ocasiones se necesita enviar el mismo mensaje a un gran número de receptores de forma simultánea. Este tipo de comunicación se denomina *multienvío*, que es una comunicación uno a muchos. El multienvío tiene muchas aplicaciones. Por ejemplo, muchos agentes de bolsa pueden ser informados simultáneamente de los cambios en los precios, o los agentes de viaje pueden ser informados de la cancelación de un vuelo. Otras aplicaciones incluyen el aprendizaje a distancia y el vídeo bajo demanda.

El direccionamiento IP soporta el multienvío. Todas las direcciones IP de 32 bits que comienzan con 1110 (clase D) son direcciones de multienvío. Con 28 bits restantes para la dirección del grupo, se encuentran más de 250 millones de direcciones disponibles. Algunas de estas direcciones se encuentran permanentemente asignadas.

El **protocolo de mensajes de grupos de internet (IGMP,** *Internet Group Message Protocol*) se ha diseñado para ayudar a un encaminador con multienvío a identificar las estaciones de una LAN que son miembros de un grupo de multienvío. Es un compañero del protocolo IP.

24.6. NIVEL DE TRANSPORTE

El nivel de transporte está representado en TCP/IP por dos protocolos: TCP y UDP. De estos, UDP es el más simple; ofrece una funcionalidad de transporte que no asegura secuencia, cuando la fiabilidad y la seguridad son menos importantes que el tamaño y la velocidad. La mayoría de las aplicaciones, sin embargo, requieren una entrega extremo a extremo fiable y hacen uso de TCP.

El protocolo IP entrega un datagrama desde una estación origen a una estación destino, mediante un protocolo estación a estación. Los sistemas operativos actuales, sin embargo, soportan entornos multiusuario y de multiproceso. Se denomina proceso a un programa en ejecución. Una estación que recibe un datagrama puede estar ejecutando varios procesos concurrentes, y cualquiera de ellos puede ser el posible destinatario de la transmisión. De hecho, aunque hemos estado hablando de estaciones que envían mensajes a otras estaciones de la red, es realmente un proceso origen el que envía un mensaje a un proceso destino.

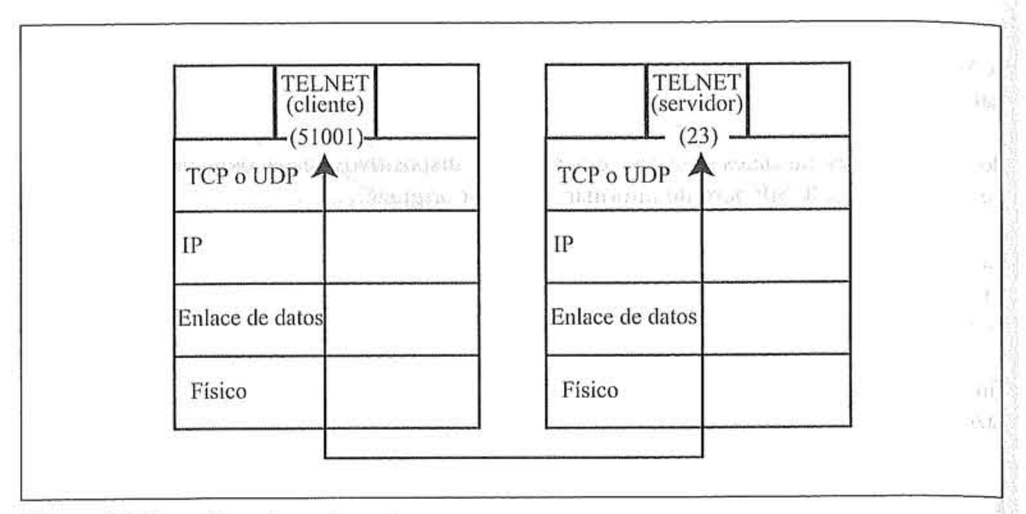


Figura 24.14. *Direcciones de puertos.*

Los protocolos de transporte del conjunto de protocolos TCP/IP definen un conjunto de conexiones conceptuales para los procesos individuales denominados puertos del protocolo o sencillamente puertos. Un puerto es un punto de destino (normalmente un buffer) que almacena datos para ser utilizados por un proceso particular. La interfaz entre los procesos y sus puertos correspondientes es ofrecida por el sistema operativo de la estación.

El protocolo IP es un protocolo estación a estación, lo que significa que puede entregar un paquete de un dispositivo físico a otro. Los protocolos de nivel de transporte de TCP/IP son protocolos puerto a puerto, que trabajan encima de los protocolos IP para entregar el paquete desde un puerto origen a los servicios IP en el comienzo de la transmisión y desde los servicios IP al puerto de destino en el final (véase la Figura 24.14).

Cada puerto se define como una dirección, que es un entero positivo, que se transporta en la cabecera del paquete del nivel de transporte. Un datagrama IP utiliza la dirección internet de 32 bits de la estación. Una trama en el nivel de transporte utiliza la **dirección del puerto** del proceso de 16 bits, suficiente para permitir hasta 65.536 (de 0 a 65.535) puertos.

Protocolo de datagramas de usuario (UDP)

El protocolo de datagramas de usuario (UDP) es el más simple de los dos protocolos de transporte TCP/IP estándar. Es un protocolo de nivel de transporte extremo a extremo que añade sólo direcciones de puertos, control de errores mediante sumas de comprobación y la información de longitud de los datos del nivel superior. El paquete producido por el protocolo UDP se denomina datagrama de usuario (véase la Figura 24.15). A continuación se realiza una breve descripción de sus campos.

- **Dirección del puerto origen.** Es la dirección del programa de aplicación que ha creado el mensaje.
- **Dirección del puerto destino.** Es la dirección del programa de aplicación que recibirá el mensaje.
- **Longitud total.** Este campo define la longitud total del datagrama de usuario en bytes.

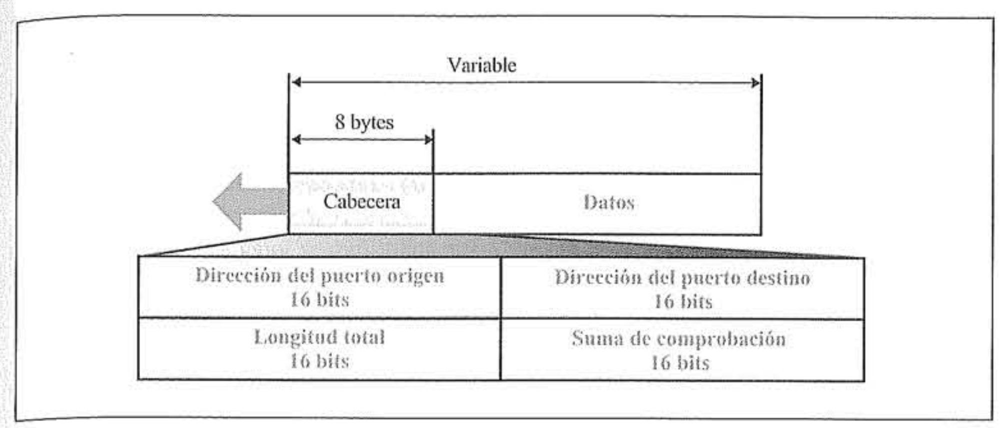


Figura 24.15. *Formato de un datagrama UDP.*

- **Suma de comprobación.** Esta suma de comprobación es un campo de 16 bits utilizado para la detección de errores.

UDP proporciona sólo las funciones básicas necesarias para la entrega extremo a extremo de una transmisión. No ofrece funciones de secuenciamiento ni de reordenación y no puede especificar el paquete dañado cuando se informa de un error (por lo que debe usarse con ICMP). UDP puede descubrir que ha ocurrido un error; ICMP puede, a continuación, informar al emisor de que un datagrama de usuario se ha dañado o se ha descartado. Tampoco tiene, sin embargo, la capacidad para especificar qué paquete se ha perdido. UDP contiene solo una suma de comprobación; no contiene un identificador o número de secuencia para un segmento de datos concreto.

Protocolo de control de transmisión (TCP)

El Protocolo de control de transmisión (TCP) proporciona servicios completos de transporte a las aplicaciones. TCP es un protocolo de transporte puerto a puerto que ofrece un flujo fiable. El término *flujo*, en este contexto, significa orientado a conexión: se debe establecer una conexión entre ambos extremos de la transmisión antes de poder transmitir datos. Al crear esta conexión, TCP genera un circuito virtual entre el emisor y el receptor que se encuentra activo durante la duración de la transmisión. (Las conexiones durante la duración de un intercambio entero son diferentes y son manejadas por funciones de sesión en las aplicaciones individuales.) TCP comienza cada transmisión informando al receptor de que hay datagramas en camino (el establecimiento de la conexión) y finaliza cada transmisión con una terminación de conexión. De esta forma, el receptor conoce la transmisión entera en lugar de un único paquete.

IP y UDP tratan los datagramas que pertenecen a una única transmisión como unidades independientes, no relacionadas entre sí. La llegada de cada datagrama al destino es, por tanto, un evento distinto e inesperado por el receptor. TCP, por otro lado, como un servicio orientado a conexión, es responsable de la entrega fiable del flujo entero de bits contenido en el mensaje inicialmente generado por la aplicación emisora. La fiabilidad se asegura mediante la detección de errores y la retransmisión de las tramas con errores; todos los segmentos deben ser recibidos y confirmados antes de que la transmisión se considere completa y se descarte el circuito virtual.

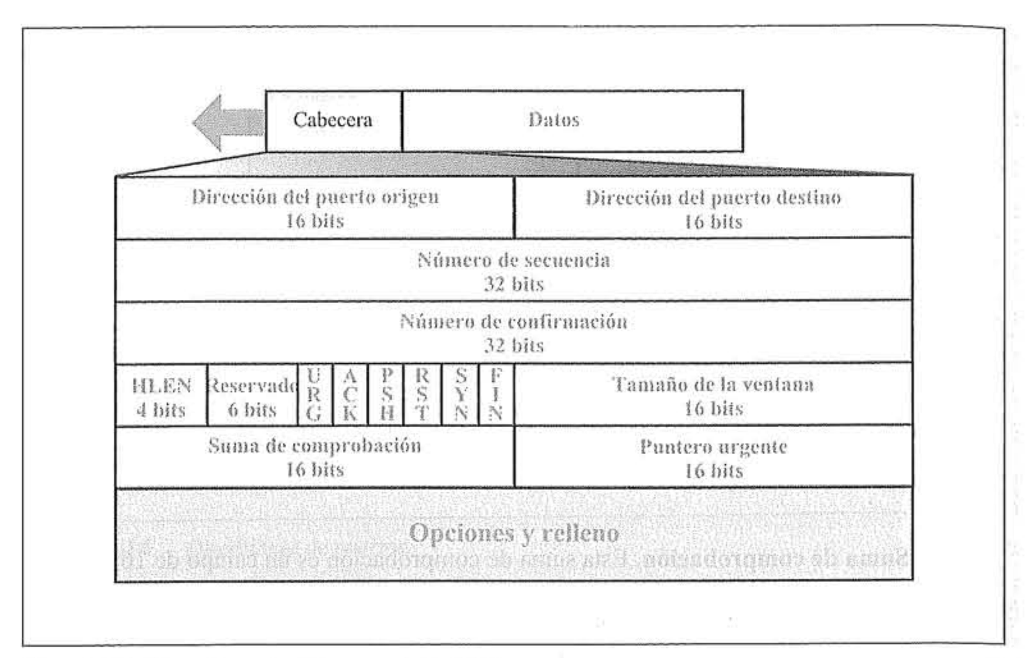


Figura 24.16. *Formato del segmento de TCP.*

En el extremo emisor de cada transmisión, TCP divide las transmisiones largas en unidades de datos más pequeñas y empaqueta cada una de ellas en una trama denominada segmento. Cada segmento incluye un número de secuencia para la posterior reordenación de los segmentos en el receptor, junto con un número identificador de confirmación y un campo que indica el tamaño de la ventana deslizante utilizada en las confirmaciones. Los segmentos se transportan por la red dentro de datagramas IP. En el extremo receptor TCP captura cada datagrama y reordena la transmisión de acuerdo a los n meros de se

El segmento de TCP

El ámbito de los servicios ofrecidos por TCP requiere que la cabe plia (véase la Figura 24.16). Una comparación del formato del segn ato de un datagrama de usuario UDP muestra las diferencias entre l fre- ce un rango comprensible de funciones de fiabilidad pero sacrif sta- blecerse conexiones, hay que esperar confirmaciones, etc.). Debido a que UDP utiliza un tamaño de trama más pequeño, éste es mucho más rápido que TCP, pero es menos fiable. A continuación se realiza una breve descripción de los campos del segmento.

- **Dirección del puerto origen.** Esta dirección define el programa de aplicación de la computadora origen.
- **Dirección del puerto destino.** Este campo define el programa de aplicación de la computadora destino.
- **Número de secuencia.** Un flujo de datos del programa de aplicación se puede dividir en dos o más segmentos TCP. El campo con el número de secuencia muestra la posición de los datos en el flujo de datos original.

- **Número de confirmación.** El número de confirmación de 32 bits se utiliza para confirmar la recepción de datos desde el otro dispositivo que participa en la comunicación. Este número es válido sólo si el bit ACK del campo de control (explicado más adelante) está activo. En este caso, define el número de secuencia del byte que se espera a continuación.
- **Longitud de la cabecera (LC).** Este campo de cuatro bits indica el número de palabras de 32 bits (cuatro bytes) de la cabecera TCP. Los cuatro bits pueden definir hasta 15. Este valor se multiplica por 4 para obtener el número total de bytes de la cabecera. Por tanto, el tamaño de la cabecera puede ser de hasta una máximo de 60 bytes (4×15). Puesto que el tamaño mínimo de la cabecera es de 20 bytes, se dispone de 40 bytes disponibles para la sección de opciones.
- **Reservado.** Este campo de seis bits se reserva para uso futuro.
- **Control.** Cada bit del campo de control de seis bits funciona de forma individual e independiente. Un bit puede definir el uso de un segmento o servir como una comprobación de la validez de otros campos. El bit urgente, cuando se activa, valida el campo de puntero urgente. Este bit y el puntero indican que los datos del segmento son urgentes. El bit ACK, cuando se activa, valida el campo con el número de confirmación. Ambos se utilizan juntos y tienen funciones diferentes, dependiendo del tipo de segmento. El bit PSH se utiliza para informar al emisor de que se necesita un mayor ancho de banda. Si es posible, los datos deben colocarse en caminos con mayores anchos de banda. El bit RST se utiliza para reiniciar la conexión cuando hay confusión en los números de secuencia. El bit SYN se utiliza para sincronizar los números de secuencia en tres tipos de segmentos: petición de conexión, confirmación de conexión (con el bit ACK activo) y la recepción de confirmación (con el bit ACK activo). El bit FIN se utiliza en la terminación de la conexión en tres tipos de segmentos: petición de terminación, confirmación de terminación (con el bit ACK activo) y confirmación de la confirmación de terminación (con el bit ACK activo).
- **Tamaño de la ventana.** Este campo de 16 bits define el tamaño de la ventana deslizante.
- **Suma de comprobación.** Este campo de 16 bits se utiliza para la detección de errores.
- **Puntero urgente.** Este es el último campo requerido en la cabecera. Su valor es válido sólo si el bit URG del campo de control se encuentra activado. En este caso, el emisor está informando al receptor de que hay **datos urgentes** en la porción de datos del segmento. Este puntero define el final de los datos urgentes y el comienzo de los datos normales.
- **Opciones y relleno.** El resto de la cabecera TCP define los campos opcionales. Se utilizan para enviar información adicional al receptor o para alineamiento.

24.7. TÉRMINOS Y CONCEPTOS CLAVE

Agencia de proyectos de investigación avanzada (ARPA)	datagrama de usuario
clase de dirección	datagrama IP
clase de dirección IP	datos urgentes
datagrama	difusión
	dirección de multienvío

dirección de puerto
dirección de subred
dirección Internet
dirección IP
enmascaramiento
estación
identificador de estación
identificador de red
IPv4
multienvío
notación decimal con puntos
protocolo de control de transmisión (TCP)
protocolo de control de transmisión/protocolo entre redes (TCP/IP)
protocolo de datagramas de usuario (UDP)
protocolo de mensajes de control de internet (ICMP)
protocolo de mensajes de grupos de internet (IGMP)
protocolo de resolución de direcciones (ARP)
protocolo de resolución inversa de direcciones
protocolo entre redes (IP)
Red de la Agencia de proyectos de investigación avanzada (ARPANET)
segmento
subred
subredes

24.8. RESUMEN

- El protocolo de control de transmisión/protocolo entre redes (TCP/IP) es un conjunto de reglas y procedimientos que gobiernan el intercambio de mensajes en una internet.
- TCP/IP fue originalmente desarrollado como un protocolo para redes que querían conectarse a ARPANET, un proyecto del Departamento de Defensa de los EE.UU. ARPANET se conoce ahora como Internet.
- TCP/IP es un conjunto de protocolos de cinco niveles cuyos cuatro niveles inferiores coinciden mucho con el modelo OSI. El nivel más alto, el nivel de aplicación, se corresponde con los tres niveles superiores del modelo OSI.
- El protocolo entre redes (IP) se define como el nivel de red. IP es un protocolo sin conexión no fiable.
- El paquete IP, denominado datagrama, consta de una cabecera variable y un campo de datos variable.
- Una dirección internet (conocida mejor como dirección IP) define de forma única la conexión de una estación a su red.
- La dirección IP de cuatro bytes se escribe normalmente como n1.n2.n3.n4, donde nx es el equivalente decimal de cada byte. Las direcciones IP contienen tres trozos de información:
  a. Tipo de clase—A, B, C, D o E
  b. Identificador de red—número que identifica la red
  c. Identificador de estación—dirección de la estación.
- Si el identificador de la estación es 0, la dirección se refiere a la red física completa.
- El uso de subredes permite un nivel adicional de jerarquización en el direccionamiento IP.
- El protocolo de resolución de direcciones (ARP) busca la dirección física de un dispositivo conocida su dirección IP.

- El protocolo de resolución inversa de direcciones (RARP) se encarga de encontrar la dirección IP de una estación a partir de su dirección física.
- El protocolo de mensajes de control de internet (ICMP) maneja el control y los mensajes de error en el nivel IP.
- Hay dos protocolos en el nivel de transporte:
  a. El protocolo de datagramas de usuario (UDP)
  b. El protocolo de control de transmisión (TCP)
- Un puerto de protocolo es un punto origen o de destino de un programa en ejecución en el nivel de aplicación.
- UDP es un protocolo no orientado a conexión no fiable. La comunicación en UDP se realiza puerto a puerto. El paquete UDP se denomina datagrama.
- TCP es un protocolo fiable orientado a conexión. La comunicación en TCP se realiza también puerto a puerto. El paquete se denomina segmento.

24.9. MATERIAL PRÁCTICO

Preguntas de revisión

1. ¿Qué diferencia hay entre una dirección física y una lógica?
2. ¿Cuáles son las diferencias entre usar UDP y TCP?
3. ¿Cuál es la conexión que existe entre el protocolo TCP/IP y ARP?
4. ¿Cuál es la definición de una internet? ¿Cuál es la definición de Internet?
5. Relacione el nivel de aplicación de TCP/IP con su equivalente en el modelo OSI.
6. ¿Cuáles son los protocolos físico y de enlace de datos en el conjunto de protocolos de TCP/IP?
7. ¿Cómo se denomina a los diferentes paquetes de datos en los protocolos de TCP/IP?
8. Enumere los protocolos del nivel de red del conjunto de protocolos TCP/IP.
9. ¿Qué es un servicio con mejor entrega posible?
10. ¿Cuál es el objetivo del campo tiempo de vida en la cabecera de un datagrama IP?
11. Dada una dirección IP en notación decimal-punto, ¿de qué forma se puede determinar su clase?
12. ¿De qué forma un dispositivo puede tener más de una dirección IP?
13. Describa la relación que existe entre la clase de la red y el número de estaciones permitido.
14. ¿Qué es un identificador de estación y un identificador de red?
15. ¿En qué se diferencia un identificador de red de una dirección de red?
16. ¿Cuál es el objetivo de emplear subredes?
17. ¿De qué forma se relaciona el enmascaramiento con las subredes?
18. ¿Cuál es la diferencia entre enmascaramiento a nivel de frontera y sin nivel de frontera?
19. ¿Cuál es el objetivo del protocolo ARP?
20. ¿Cuál es el objetivo del protocolo RARP?
21. ¿Cuál es el objetivo del protocolo ICMP?
22. ¿Cuál es el objetivo del protocolo IGMP?
23. Compare un protocolo estación a estación como es el protocolo IP con un protocolo puerto a puerto como es TCP.

24. ¿Cuál es la diferencia entre una dirección lógica y un puerto?
25. Describa los pasos necesarios para que se pueda realizar una comunicación de datos en un protocolo orientado a conexión.

Preguntas con respuesta múltiple

26. ¿Qué nivel del modelo OSI se corresponde con el nivel TCP-UDP?
    a. físico
    b. de enlace de datos
    c. de red
    d. de transporte
27. ¿Qué nivel del modelo OSI se corresponde con el nivel IP?
    a. físico
    b. de enlace de datos
    c. de red
    d. de transporte
28. ¿Qué nivel(es) del modelo OSI se corresponden con el nivel de aplicación de TCP/IP?
    a. aplicación
    b. presentación
    c. sesión
    d. todos los anteriores
29. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es cierta con relación a una dirección IP?
    a. Se divide en exactamente dos clases
    b. Contiene un identificador de estación de longitud fija
    c. Se estableció como una interfaz de usuario amigable
    d. Tiene 32 bits
30. ¿Cuál de las siguientes clases de dirección IP tienen menos estaciones por red?
    a. A
    b. B
    c. C
    d. D
31. ¿Qué busca el nivel de enlace de datos cuando envía una trama de un enlace a otro?
    a. identificador de estación
    b. dirección IP
    c. nombre de dominio
    d. dirección de la estación
32. El objetivo de ARP en una red es encontrar la _____ dado/a el/la _____.
    a. dirección de Internet, nombre de dominio
    b. dirección de Internet, identificador de red
    c. dirección de Internet, dirección de estación
    d. dirección de estación, dirección de Internet
33. ¿Cuál de las siguientes características es aplicable a UDP?
    a. es sin conexión y no fiable
    b. contiene las direcciones de los puertos origen y destino
    c. informa de ciertos errores
    d. todas las anteriores
34. ¿Cuál de las siguientes características se aplican a UDP y TCP?

    a. son protocolos de nivel de transporte
    b. ofrecen comunicación puerto a puerto
    c. utilizan los servicios del nivel IP
    d. todos las anteriores
35. ¿Cuál de las siguientes direcciones representa la dirección de una estación de clase A?
    a. 128.4.5.6
    b. 117.4.5.1
    c. 117.0.0.0
    d. 117.8.0.0
36. ¿Cuál de las siguientes direcciones representa la dirección de una estación de clase B?
    a. 230.0.0.0
    b. 130.4.5.6
    c. 230.0.0.0
    d. 30.4.5.6
37. ¿Cuál de las siguientes direcciones representa la dirección de una estación de clase C?
    a. 230.0.0.0
    b. 130.4.5.6
    c. 200.1.2.3
    d. 30.4.5.6
38. La unidad de datos en el nivel de aplicación de TCP/IP se denomina _____.
    a. mensaje
    b. segmento
    c. datagrama
    d. trama
39. La unidad de datos en el nivel de enlace de datos de TCP/IP se denomina _____.
    a. mensaje
    b. segmento
    c. datagrama
    d. trama
40. La unidad de datos en el nivel IP de TCP/IP se denomina _____.
    a. mensaje
    b. segmento
    c. datagrama
    d. trama
41. La unidad de datos del nivel de transporte que utiliza UDP se denomina _____.
    a. datagrama de usuario
    b. mensaje
    c. segmento
    d. trama
42. El nivel _____ de TCP/IP se corresponde con los tres niveles superiores del modelo OSI.
    a. aplicación
    b. presentación
    c. sesión
    d. transporte
43. Cuando una estación conoce la dirección física pero no su dirección IP, puede utilizar _____.
    a. ICMP
    b. IGMP

c. ARP
d. RARP

44. Este protocolo del nivel de transporte es sin conexión.
a. UDP
b. TCP
c. FTP
d. NVT

45. Este protocolo del nivel de transporte requiere confirmaciones.
a. UDP
b. TCP
c. FTP
d. NVT

46. ¿Cuál de las siguientes es la máscara por defecto para la dirección 198.0.46.201?
a. 255.0.0.0
b. 255.255.0.0
c. 255.255.255.0
d. 255.255.255.255

47. ¿Cuál de las siguientes es la máscara por defecto para la dirección 98.0.46.201?
a. 255.0.0.0
b. 255.255.0.0
c. 255.255.255.0
d. 255.255.255.255

48. ¿Cuál de las siguientes es la máscara por defecto para la dirección 190.0.46.201?
a. 255.0.0.0
b. 255.255.0.0
c. 255.255.255.0
d. 255.255.255.255

Ejercicios

49. Calcule el número de redes (no estaciones) que puede contener cada una de las clases de direcciones IP (sólo A, B y C).

50. Calcule el número de estaciones por red que puede tener cada una de las clases de direcciones IP (sólo A, B y C).

51. Cambie la siguiente dirección IP de notación decimal-punto a notación binaria
a. 114.34.2.8
b. 129.14.6.8
c. 208.34.54.12
d. 238.34.2.1
e. 241.34.2.8

52. Cambie las siguientes direcciones IP de notación binaria a notación decimal-punto.
a. 01111111 11110000 01100111 01111101
b. 10101111 11000000 11110000 00011101
c. 11011111 10110000 00011111 01011101
d. 11101111 11110111 11000111 00011101
e. 11110111 11110011 10000111 11011101

53. Indique la clase de cada una de las siguientes direcciones IP.

a. 208.34.54.12
b. 238.34.2.1
c. 114.34.2.8
d. 129.14.6.8
e. 241.34.2.8

54. Indique la clase de cada una de las siguientes direcciones IP.
a. 11110111 11110011 10000111 11011101
b. 10101111 11000000 11110000 00011101
c. 11011111 10110000 00011111 01011101
d. 11101111 11110111 11000111 00011101
e. 01111111 11110000 01100111 01111101

55. Indique el identificador de red y el identificador de estación de cada una de las siguientes direcciones IP:
a. 114.34.2.8
b. 19.34.21.5
c. 23.67.12.1
d. 126.23.4.0

56. Indique el identificador de red y el identificador de estación de cada una de las siguientes direcciones IP:
a. 129.14.6.8
b. 132.56.8.6
c. 171.34.14.8
d. 190.12.67.9

57. Indique el identificador de red y el identificador de estación de cada una de las siguientes direcciones IP:
a. 192.8.56.2
b. 220.34.8.9
c. 208.34.54.12
d. 205.23.67.8

58. Indique la dirección de red de las siguientes direcciones IP:
a. 114.34.2.8
b. 171.34.14.8
c. 192.8.56.2
d. 205.23.67.8
e. 226.7.34.5
f. 226.7.34.5
g. 225.23.6.7
h. 245.34.21.5

59. Indique la dirección de red de la siguiente dirección IP:
a. 23.67.12.1
b. 126.23.4.0
c. 190.12.67.9
d. 220.34.8.9
e. 237.34.8.2
f. 240.34.2.8
g. 247.23.4.78

60. Escriba las siguientes máscaras en notación binaria:

a. 255.255.255.0
b. 255.255.0.0
c. 255.0.0.0

61. Escriba las siguientes máscaras en notación binaria:
a. 255.255.192.0
b. 255.255.224.0
c. 255.255.255.240
62. Escriba las siguientes máscaras en notación decimal-punto:
a. 11111111111111111111111111111000
b. 11111111111111111111111111100000
c. 11111111111111111111100000000000
63. Indique el patrón de bits para cada una de las siguientes máscaras utilizadas en redes de clase B.
a. 255.255.192.0
b. 255.255.0.0
c. 255.255.224.0
d. 255.255.255.0
64. Indique el patrón de bits para cada una de las siguientes máscaras utilizadas en redes de clase C.
a. 255.255.255.192
b. 255.255.255.224
c. 255.255.255.240
d. 255.255.255.0
65. ¿Cuál es el máximo número de subredes en redes de clase A que utilizan las siguientes máscaras?
a. 255.255.192.0
b. 255.292.0.0
c. 255.255.224.0
d. 255.255.255.0
66. ¿Cuál es el número máximo de subredes en redes de clase B que utilizan las siguientes máscaras?
a. 255.255.192.0
b. 255.255.0.0
c. 255.255.224.0
d. 255.255.255.0
67. ¿Cuál es el número máximo de subredes en redes de clase C que utilizan las siguientes máscaras?
a. 255.255.255.192
b. 255.255.255.224
c. 255.255.255.240
d. 255.255.255.0
68. Indique la dirección de la subred para las siguientes direcciones IP:
Dirección IP: 125.34.12.56 Máscara: 255.255.0.0
69. Indique la dirección de la subred para las siguientes direcciones IP:
Dirección IP: 120.14.22.16 Máscara: 255.255.128.0
70. Indique la dirección de la subred para las siguientes direcciones IP:
Dirección IP: 140.11.36.22 Máscara: 255.255.224.0

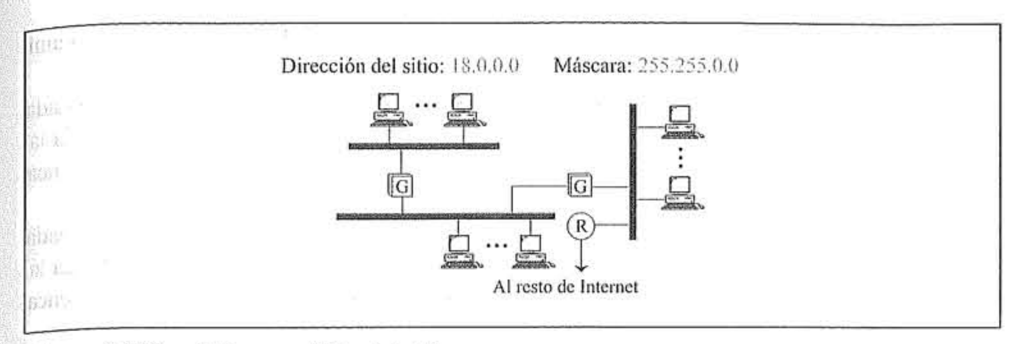


Figura 24.17. *Sitio para el Ejercicio 73.*

71. Indique la dirección de la subred para las siguientes direcciones IP:
Dirección IP: 141.181.14.16 Máscara: 255.255.224.0
72. Indique la dirección de la subred para las siguientes direcciones IP:
Dirección IP: 200.34.22.156 Máscara: 255.255.225.240
73. La Figura 24.17 muestra un sitio con una dirección de red y máscaras determinadas. La administración ha dividido el sitio en varias subredes. Elija de forma adecuada las direc-

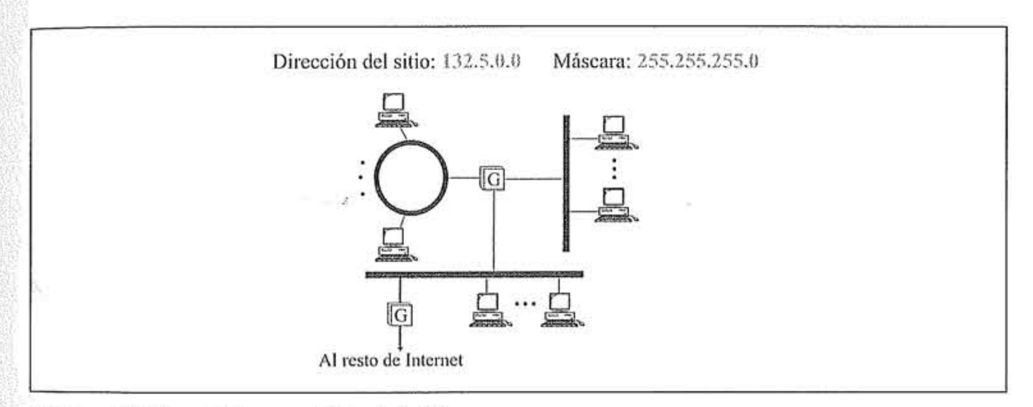


Figura 24.18. *Sitio para el Ejercicio 74.*

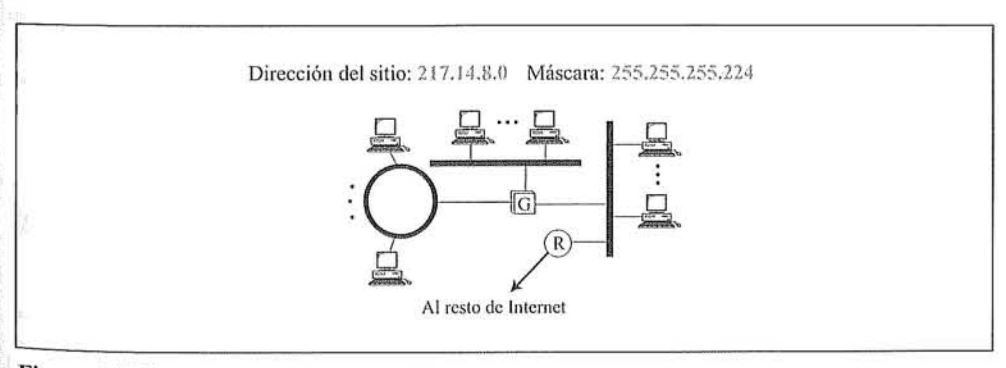


Figura 24.19. *Sitio para el Ejercicio 75.*

ciones de las subredes, las direcciones de las estaciones y las direcciones de los encaminadores.

74. La Figura 24.18 muestra un sitio con una dirección de red y una máscara determinada. La administración ha dividido el sitio en varias subredes. Elija de forma adecuada las direcciones de las subredes, las direcciones de las estaciones y las direcciones de los encaminadores.
75. La Figura 24.19 muestra un sitio con una dirección de red y una máscara determinada. La administración ha dividido el sitio en varias subredes. Elija de forma adecuada las direcciones de las subredes, las direcciones de las estaciones y las direcciones de los encaminadores.

CAPÍTULO 25

Conjunto de protocolos TCP/IP: parte 2, el nivel de aplicación

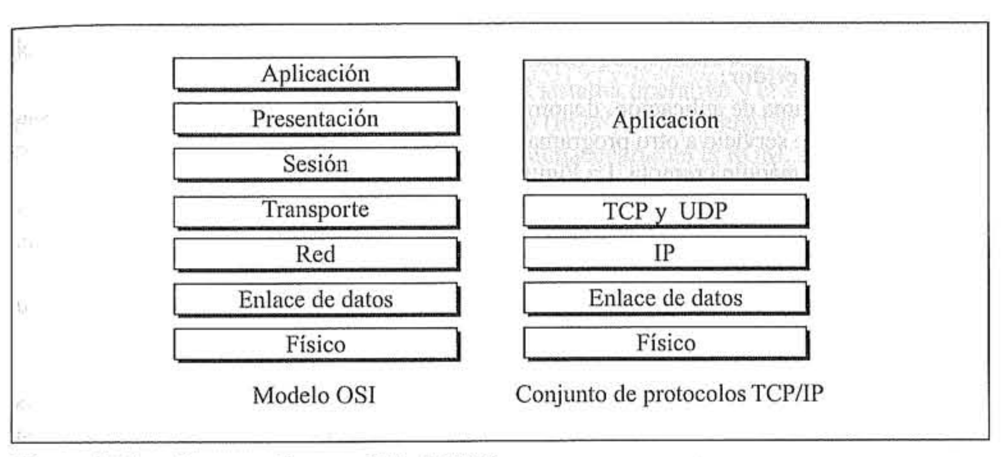


Figura 25.1. *Comparación entre OSI y TCP/IP.*

Debido a que el conjunto de protocolos TCP/IP fue diseñado antes que el modelo OSI, los niveles de TCP/IP no se corresponden exactamente con los niveles del modelo OSI. TCP/IP tiene cinco niveles: los cuatro inferiores se corresponden con los cuatro niveles inferiores del modelo OSI. El nivel de aplicación de TCP/IP, sin embargo, es equivalente a la combinación de los niveles de sesión, de presentación y de aplicación del modelo OSI. Esto significa que todas las funciones asociadas a estos tres niveles son gestionadas en un único nivel, el nivel de aplicación (véase la Figura 25.1).

25.1. MODELO CLIENTE-SERVIDOR

Para utilizar los servicios disponibles en una internet, se necesitan dos programas de aplicación, que ejecuten en dos computadoras y que se comuniquen entre sí. En otras palabras, en una internet, los programas de aplicación son las entidades que se comunican entre sí, no las computadoras ni los usuarios.

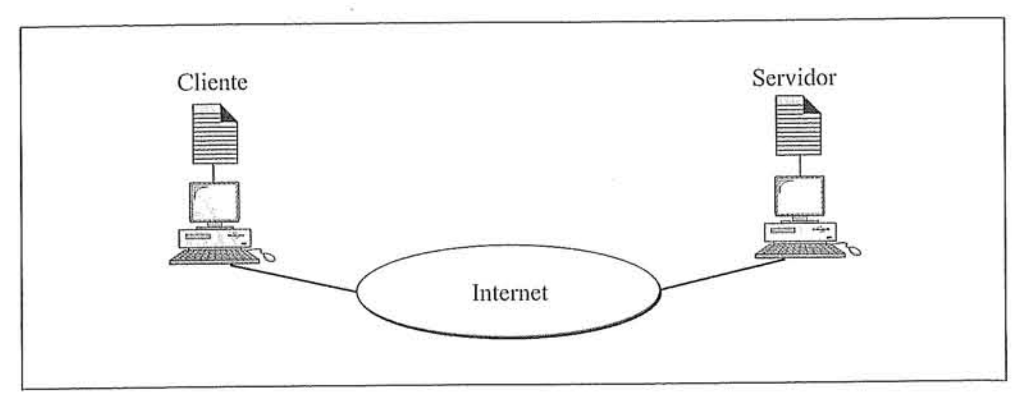


Figura 25.2. *Modelo cliente-servidor.*

Los programas de aplicación que utilizan Internet siguen las siguientes estrategias del **modelo cliente-servidor:**

- Un programa de aplicación, denominado **cliente**, que ejecuta en una máquina local, solicita un servicio a otro programa de aplicación, denominado **servidor**, que ejecuta en una máquina remota. La Figura 25.2 ilustra este proceso.
- Un servidor puede ofrecer un servicio a cualquier cliente, no sólo a un cliente determinado. En otras palabras, la relación cliente-servidor es una relación muchos a uno. Muchos clientes pueden utilizar los servicios de un servidor.
- Generalmente, un programa cliente, que solicita un servicio, debería ejecutar sólo cuando es necesario. El programa servidor, que ofrece el servicio, debería estar ejecutando siempre debido a que no sabe cuando se va a necesitar el servicio.
- Los servicios utilizados muy frecuentemente por muchos usuarios tienen programas de aplicación cliente-servidor específicos. Por ejemplo, se debería disponer de una aplicación cliente-servidor para permitir a los usuarios acceder a archivos, enviar correos electrónicos, etc. Para servicios más a medida, se debería disponer de un programa de aplicación genérico que permitiera a los usuarios acceder a los servicios disponibles en una computadora remota.

Cliente

Un cliente es un programa que ejecuta en una máquina local y que solicita un servicio del servidor A. Un programa cliente es finito, lo que significa que es arrancado por un usuario (u otro programa de aplicación) y finaliza cuando el servicio se ha completado.

Servidor

Un servidor es un programa que se ejecuta en una máquina remota y que ofrece un servicio a los clientes. Cuando arranca, abre una puerta para la llegada de las peticiones de los clientes, pero nunca termina hasta que no se le solicite expresamente que lo haga.

Un programa servidor es un programa infinito. Una vez arrancado, ejecuta indefinidamente a no ser que ocurra un problema. Espera la llegada de peticiones de los clientes. Cuando llega una petición, responde a la misma.

25.2. PROTOCOLO DE ARRANQUE (BOOTP) Y PROTOCOLO DE CONFIGURACIÓN DINÁMICA DE ESTACIÓN (DHCP)

Cada computadora conectada a una internet con TCP/IP debe conocer la siguiente información:

- Su dirección IP
- Su máscara de red
- La dirección IP del encaminador
- La dirección IP de un servidor de nombres.

Esta información normalmente se almacena en un archivo de configuración y es accedida por la computadora durante el proceso de arranque. Pero, ¿qué ocurre en una estación de trabajo o computadora con un disco del que se arranca por primera vez?

En el caso de una computadora sin disco, el sistema operativo y el *software* de red podrían almacenarse en una memoria de solo lectura (ROM). Sin embargo, la información anterior no es conocida por el fabricante y no puede almacenarse en la ROM. La información es dependiente de la configuración individual de la máquina y depende de la red a la que se encuentre conectada.

BOOTP

El **protocolo de arranque (BOOTP,** *Bootstrap protocol*) es un protocolo cliente-servidor diseñado para ofrecer las cuatro informaciones anteriores para una computadora sin disco o una computadora que arranca por primera vez. Ya se ha estudiado un protocolo, RARP, que ofrece la dirección IP para una computadora sin disco. ¿Por qué se necesita otro protocolo? La respuesta es que RARP sólo ofrece la dirección IP, no el resto de la información. Si se utiliza BOOTP, no se necesita RARP.

DHCP

BOOTP no es un protocolo de configuración dinámico. Cuando un cliente solicita su dirección IP, el servidor BOOTP busca en una tabla la entrada que coincida con la dirección física del cliente para obtener la dirección IP. Esto implica que debería existir el enlace entre la dirección física y la dirección IP. El enlace se encuentra predeterminado.

Sin embargo, ¿qué ocurre si la computadora cambia de una red física a otra? ¿Qué ocurre si una estación quiere una dirección IP temporal? BOOTP no puede resolver estos problemas debido a que el enlace entre la dirección física y la dirección IP es estático y se encuentra fijado en una tabla hasta que sea cambiado por el administrador. BOOTP es un protocolo de configuración estático.

El **protocolo de configuración dinámica de estación** (DHCP) proporciona configuración dinámica. DHCP es una extensión de BOOTP. Mejora BOOTP y es compatible hacia atrás con BOOTP. Esto significa que una estación que ejecuta el cliente de BOOTP puede solicitar una configuración estática de un servidor DCHP.

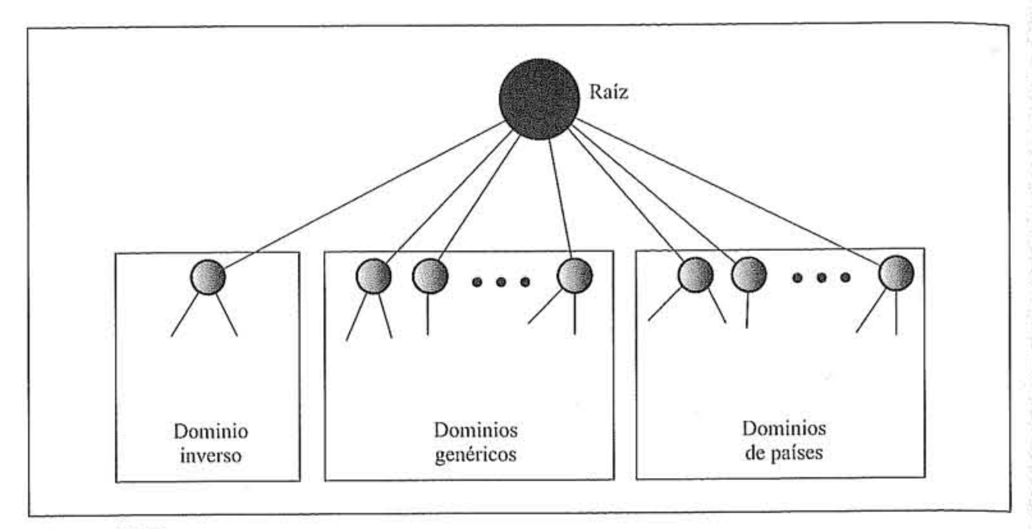


Figura 25.3. *DNS en Internet.*

DHCP también se necesita cuando una estación se mueve de una red a otra o se conecta o desconecta desde una red (como un abonado a un proveedor de servicios). DHCP proporciona direcciones IP temporales durante un periodo de tiempo limitado.

25.3. SISTEMA DE NOMBRES DE DOMINIO (DNS)

Para identificar una entidad, los protocolos TCP/IP utilizan direcciones IP, que identifican de forma única la conexión de una estación a Internet. Sin embargo, la gente prefiere utilizar nombres en lugar de direcciones. Por tanto, se necesita un sistema que pueda proyectar un nombre en una dirección y de forma inversa una dirección en un nombre. En TCP/IP, esto es el **Sistema de nombres de dominio (DNS).**

DNS en Internet

DNS es un protocolo que se puede utilizar en plataformas diferentes. En Internet, el espacio de nombres de dominio (árbol) se divide en tres secciones diferentes: dominios genéricos, dominios de país y dominios inversos (véase la Figura 25.3).

Dominios genéricos

Los **dominios genéricos** definen estaciones registradas de acuerdo a su funcionamiento genérico. Cada nodo del árbol define un dominio, que es un índice en la base de datos del espacio de nombres de dominio (véase la Figura 25.4).

Mirando el árbol, se puede ver que el primer nivel de la sección de dominio genérico permite siete posibles etiquetas de tres caracteres. Estas etiquetas describen los tipos de organización como se muestran en la Tabla 25.1.

Recientemente se han propuesto algunas etiquetas más de primer nivel; éstas se muestran en la Tabla 25.2.

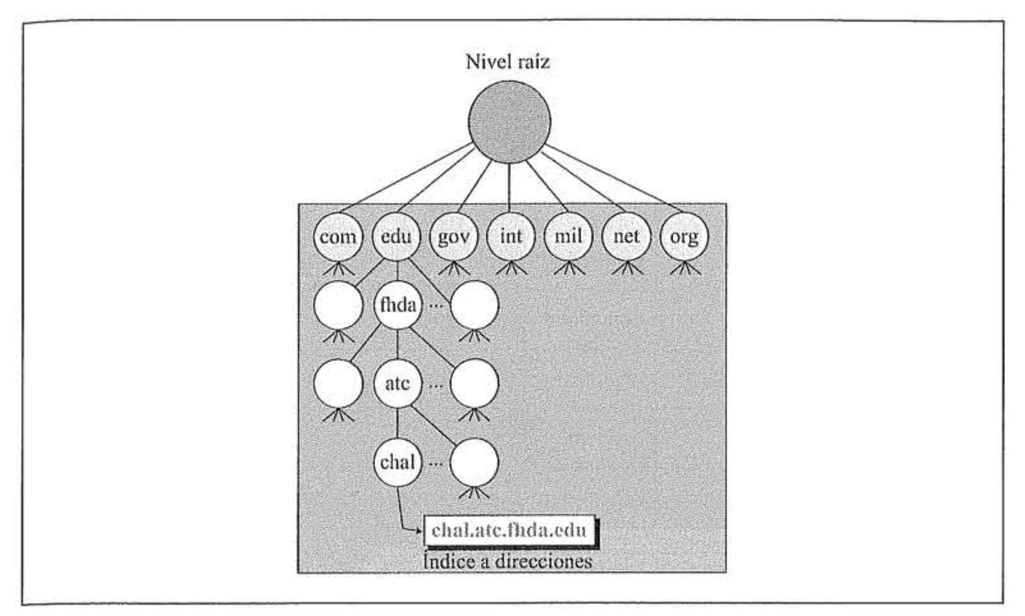


Figura 25.4. *Dominios genéricos.*

Tabla 25.1. *Etiquetas de dominios genéricos*

Etiqueta	*Descripción*
com	organizaciones comerciales
edu	instituciones educativas
gov	instituciones gubernamentales
int	organizaciones internacionales
mil	grupos militares
net	centros de soporte de red
org	organizaciones sin ánimo de lucro

Dominios de países

La sección **dominios de países** sigue el mismo formato que los dominios genéricos pero utiliza abreviaturas para los países de dos caracteres (por ejemplo, «us» para Estados Unidos) en lugar de las abreviaturas de tres caracteres para las organizaciones del primer nivel. Las etiquetas de segundo nivel pueden ser organizaciones, o pueden ser más específicas, designaciones nacionales. Los Estados Unidos, por ejemplo, utilizan las abreviaturas de los estados como subdivisión de «us» (por ejemplo, ca.us).

Tabla 25.2. *Etiquetas de dominios genéricos propuestas*

Etiqueta	*Descripción*
arts	organizaciones culturales
firm	negocios o empresas
info	proveedores de servicios de información
nom	nomenclaturas personales
rec	organizaciones recreativas y de entretenimiento
store	negocios que ofrecen bienes para comprar
web	organizaciones relacionadas con la Web

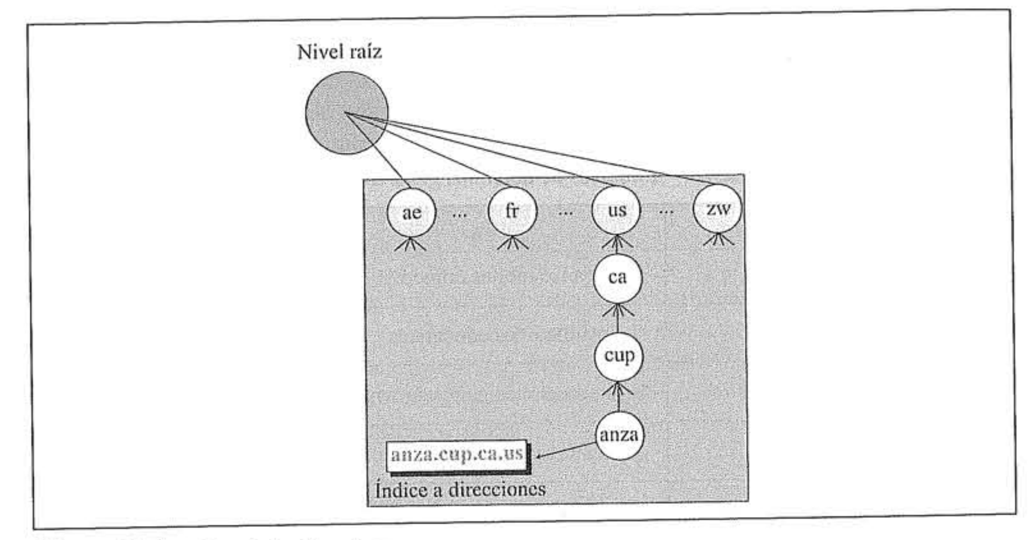


Figura 25.5. *Dominios de países.*

La Figura 25.5 muestra la sección de dominios de países. La dirección *anza.cup.ca.us* se puede traducir como el Colegio de Anza en Cupertino en California en los Estados Unidos.

Dominios inversos

El **dominio inverso** se utiliza para proyectar una dirección en un nombre. Esto puede ocurrir, por ejemplo, cuando un servidor ha recibido una petición de un cliente para realizar una tarea. Mientras que el servidor tiene un archivo que contiene una lista de clientes autorizados, el servidor lista sólo la dirección IP del cliente (extraída del paquete IP recibido). Para determinar si el cliente se encuentra en la lista de autorizados, puede enviar una petición al servidor de DNS para solicitar la traducción de la dirección a nombre (véase la Figura 25.6).

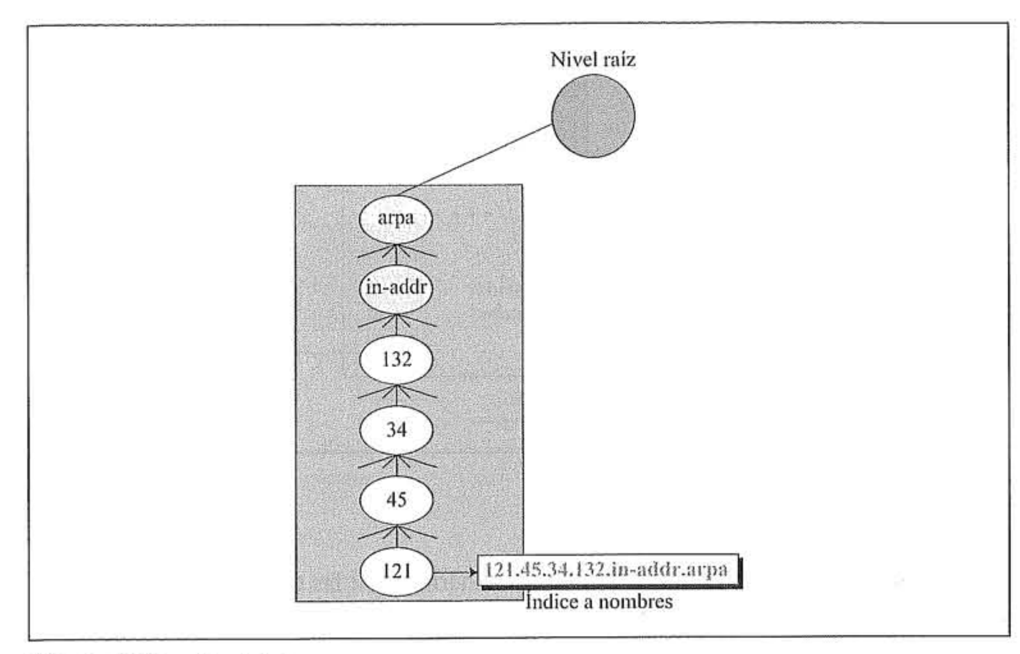


Figura 25.6. *Dominio inverso.*

25.4. TELNET

La principal tarea de Internet y de su conjunto de protocolos TCP/IP es ofrecer servicios a los usuarios. Por ejemplo, los usuarios quieren ser capaces de ejecutar programas de aplicación diferentes en un sitio remoto y crear resultados que se pueden transferir a su sitio local. Una forma de llevar a cabo estas demandas es crear un programa de aplicación cliente-servidor diferente para cada servicio deseado. Los programas como la transferencia de archivos (FTP y TFTP), el correo electrónico (SMTP) y otros se encuentran ya disponibles. Pero sería imposible escribir un programa cliente-servidor específico para cada necesidad.

La mejor solución es un programa cliente-servidor de uso general que permita al usuario acceder a cualquier programa de aplicación en una computadora remota; en otras palabras, permitir al usuario entrar en una computadora remota. Después de iniciar una sesión, el usuario puede utilizar los servicios disponibles en la computadora remota y transferir los resultados de vuelta a la computadora local.

En esta sección, se va a describir el programa de aplicación cliente-servidor denominado TELNET. **TELNET** es la abreviatura de *TErminal NETwork* (terminal de red). TELNET permite el establecimiento de una conexión con un sistema remoto de forma que el terminal local aparece como un terminal del sistema remoto.

> TELNET es un programa de aplicación cliente-servidor de uso general.

Conexión local. Cuando un usuario se conecta a un sistema de tiempo compartido local, se denomina **conexión** o **inicio de sesión local**. Cuando un usuario teclea en un terminal o en

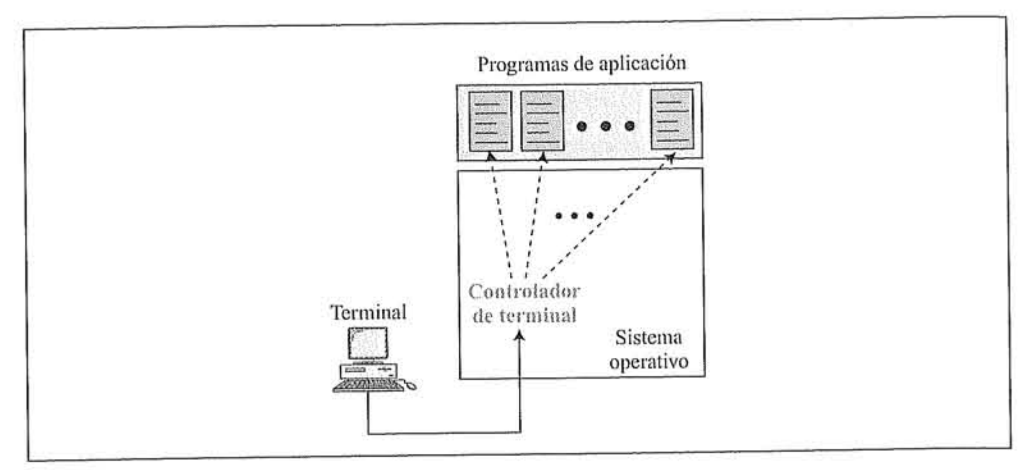


Figura 25.7. *Conexión local.*

una estación de trabajo que ejecuta un emulador de terminales, las teclas pulsadas son aceptadas por el controlador del terminal. El controlador del terminal pasa los caracteres al sistema operativo. El sistema operativo, a su vez, interpreta la combinación de caracteres e invoca el programa o utilidad de aplicación deseada (véase la Figura 25.7).

El mecanismo, sin embargo, no es tan simple como parece debido a que el sistema operativo puede asignar significados especiales a caracteres especiales. Por ejemplo, en UNIX algunas combinaciones de caracteres tienen significados especiales, como la combinación del carácter control con el carácter «z», que significa suspender; la combinación del carácter control con el carácter «c», que significa abortar; etc. Mientras estas situaciones especiales no crean problemas en una conexión local debido a que el emulador de terminales y el controlador del terminal conocen el significado exacto de cada carácter o combinación de caracteres, puede dar lugar a problemas en una conexión remota. ¿Qué proceso debería interpretar los caracteres especiales? ¿El cliente o el servidor? Esta situación se aclarará más tarde en esta sección.

Conexión remota. Cuando un usuario quiere acceder a un programa de aplicación o utilidad localizado en una máquina remota, realiza una **conexión remota.** En este caso se utilizan el cliente y el servidor de TELNET. El usuario envía las teclas pulsadas al controlador del terminal donde el sistema operativo local acepta los caracteres pero no los interpreta. Los caracteres se envían al cliente de TELNET, que transforma los caracteres en un conjunto de caracteres universales denominados *caracteres de terminal virtual de red (NVT)* y los entrega a la pila local de TCP/IP (véase la Figura 25.8).

Las órdenes o texto, en formato NVT, viajan a través de Internet y llegan a la pila TCP/IP de la máquina remota. Aquí, los caracteres son entregados al sistema operativo y pasados al servidor de TELNET, que cambia los caracteres a los correspondientes caracteres entendibles por la computadora remota. Sin embargo, los caracteres no pueden pasarse directamente al sistema operativo debido a que el sistema operativo remoto no está diseñado para recibir caracteres del servidor de TELNET: está diseñado para recibir caracteres del controlador de terminales. La solución es añadir un trozo de *software* denominado *controlador de pseudoterminales*, que hace que parezca que los caracteres vienen del terminal. El sistema operativo, a continuación, pasa los caracteres al programa de aplicación apropiado.

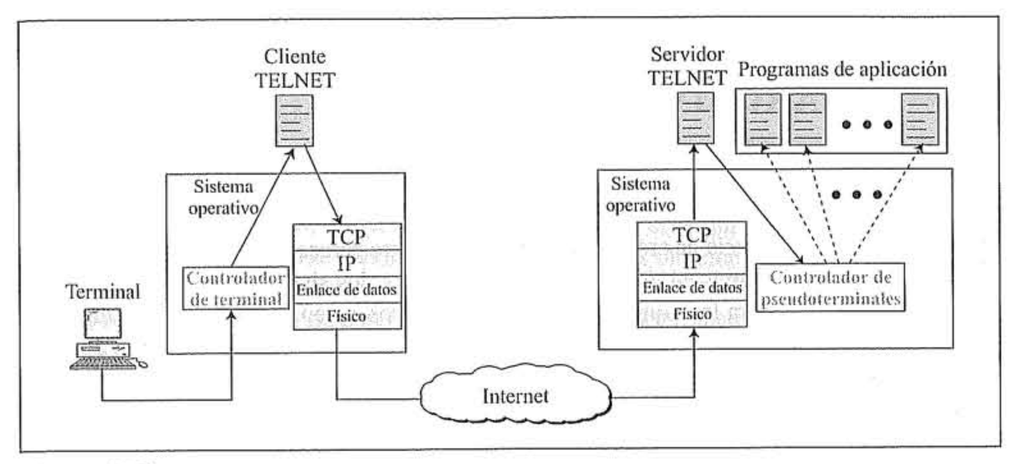


Figura 25.8. *Conexión remota.*

Terminal virtual de red (NVT)

El mecanismo para acceder a una computadora remota es complejo. Esto es debido a que cada computadora y su sistema operativo acepta una combinación especial de caracteres como testigos. Por ejemplo, el testigo utilizado como fin de archivo en una computadora que utiliza el sistema operativo DOS es Ctrl+z mientras que UNIX reconoce Ctrl+d.

Estamos tratando con sistemas heterogéneos. Si queremos acceder a cualquier computadora remota del mundo, primero debemos conocer a qué tipo de computadora queremos conectarnos, y debemos instalar el emulador de terminal específico utilizado por esa computadora. TELNET resuelve este problema definiendo una interfaz universal denominada conjunto de caracteres de **terminal virtual de red (NVT,** *Network Virtual Terminal*). Mediante esta interfaz, el cliente de TELNET traduce los caracteres (datos u órdenes) que vienen del terminal local a un formato NVT y los entrega a la red. El servidor de TELNET, por otro lado, traduce los datos u órdenes del formato NVT a un formato aceptable por la computadora remota. En la Figura 25.9 se ilustra este concepto.

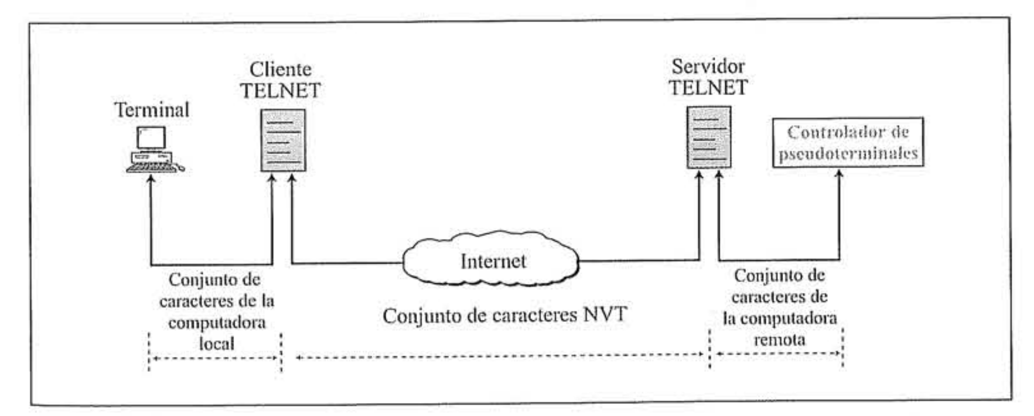


Figura 25.9. *Conexión de NVT.*

25.5. PROTOCOLO DE TRANSFERENCIA DE ARCHIVOS (FTP)

El **Protocolo de transferencia de archivos (FTP)** es el estándar proporcionado por TCP/IP para copiar un archivo de una estación a otra. La transferencia de archivos de una computadora a otra es una de las tareas más habituales esperadas en un entorno de red.

Aunque la transferencia de archivos de un sistema a otro parece simple y sencilla, se deben resolver algunos problemas en primer lugar. Por ejemplo, dos sistemas pueden utilizar convenciones diferentes para los nombres de los archivos. Dos sistemas pueden tener diferentes formas de representar texto y datos. Dos sistemas pueden tener diferentes estructuras de directorios. Todos estos problemas han sido resueltos por FTP utilizando un enfoque muy sencillo y elegante.

FTP difiere de otras aplicaciones cliente-servidor en que establece dos conexiones entre las estaciones. Una conexión se utiliza para la **transferencia de datos,** la otra para información de control (órdenes y respuestas). La separación de las órdenes de la transferencia de datos hace que FTP sea más eficiente. La conexión de control utiliza reglas muy simples de conexión. Se necesita transferir una línea de orden o una línea de respuesta en cada instante de tiempo. La conexión de datos, por otro lado, necesita reglas más complejas debido a la variedad de tipos de datos transferidos.

La Figura 25.10 muestra el modelo básico de FTP. El cliente tiene tres componentes: la interfaz de usuario, el proceso del control del cliente y el proceso de transferencia del cliente. La conexión de control se realiza entre los procesos de control. La conexión de datos se realiza entre los procesos de transferencia de datos.

La conexión de control permanece abierta durante toda la sesión FTP interactiva. La conexión de datos se abre y se cierra para cada archivo a transferir. Se abre cada vez que se utiliza una orden que involucra la transferencia de un archivo y se cierra cuando el archivo se ha transferido. Las dos conexiones, datos y control, utilizan estrategias y números de puertos diferentes.

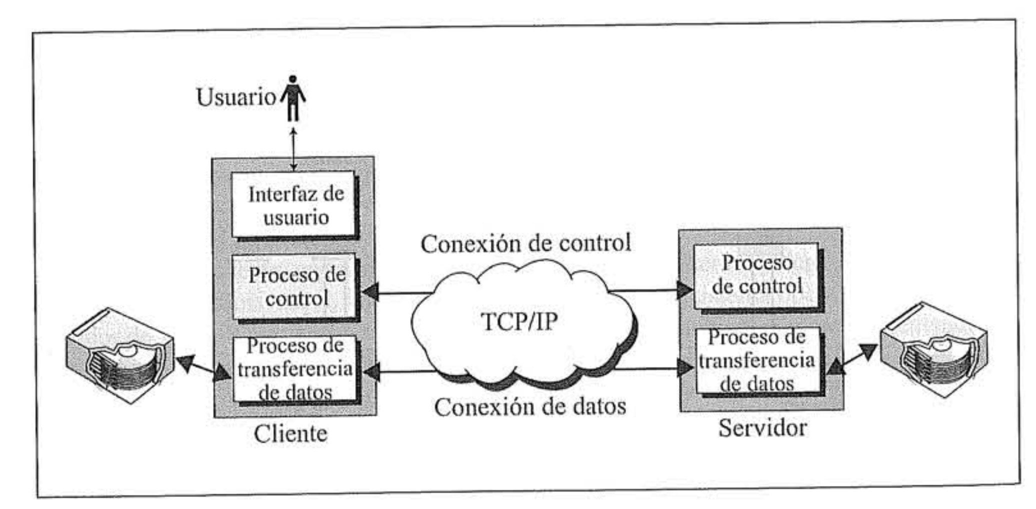


Figura 25.10. *FTP.*

25.6. PROTOCOLO TRIVIAL DE TRANSFERENCIA DE ARCHIVOS (TFTP)

Hay ocasiones en las que sólo se necesita copiar un archivo sin necesidad de toda las funcionalidades del protocolo FTP. Por ejemplo, cuando se arranca una estación de trabajo sin disco o un encaminador, se necesita descargar los archivos de arranque y de configuración. En este caso, no se necesitan todos los sofisticados mecanismos ofrecidos por FTP. Sólo se necesita un protocolo que rápidamente copie los archivos.

El **protocolo trivial de transferencia de archivos (TFTP,** *Trivial File Transfer Protocol*) se ha diseñado para estos tipos de transferencias de archivos. Es tan sencillo que el paquete de *software* puede caber en la memoria de solo lectura de una estación de trabajo sin disco. Se puede utilizar en el tiempo de arranque. TFTP puede leer o escribir un archivo para el cliente. La *lectura* significa copiar un archivo desde el servidor al cliente. La *escritura* significa copiar un archivo desde el cliente al servidor.

25.7. PROTOCOLO SENCILLO DE TRANSFERENCIA DE CORREO ELECTRÓNICO (SMTP)

Uno de los servicios de red más popular es el **correo electrónico** (**e-mail**). El protocolo TCP/IP que soporta el correo electrónico en Internet es el **Protocolo sencillo de transferencia de correo electrónico (SMTP,** *Simple Mail Transfer Protocol*). Es un sistema para enviar mensajes a otros usuarios de computadoras que se basa en direcciones de correo electrónico. SMTP ofrece intercambio de correo electrónico entre usuarios de la misma o de diferentes computadoras. SMTP permite:

- El envío de un único mensaje a uno o más receptores.
- El envío de mensajes que incluyen texto, voz, vídeo o gráficos.
- El envío de mensajes a usuarios de redes situadas fuera de Internet.

Se va a comenzar con una sencilla figura (Figura 25.11), examinando de forma gradual los componentes de un sistema SMTP. Se va a comenzar rompiendo el cliente y el servidor

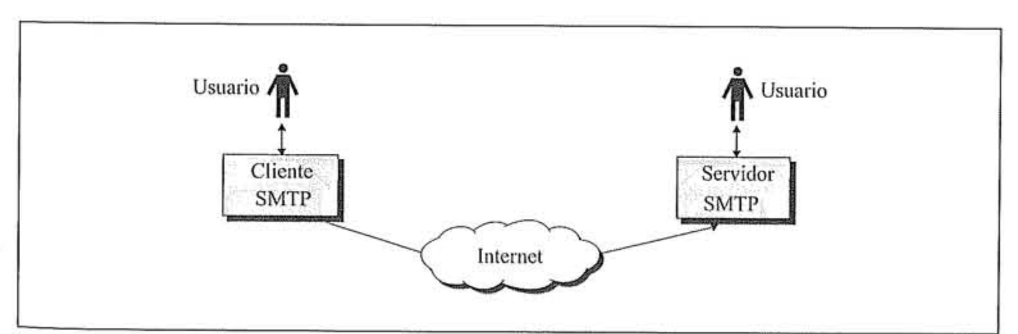


Figura 25.11. *Concepto de SMTP.*

SMTP en dos componentes: **el agente de usuario (UA,** *User Agent*) y el **agente de transferencia de correo electrónico (MTA,** *Mail Transfer Agent*).

El UA prepara el mensaje, crea el sobre y coloca el mensaje en el sobre. El MTA transfiere el correo electrónico a través de Internet. La Figura 25.12 muestra la figura anterior con la incorporación de estos dos componentes.

El protocolo SMTP permite un sistema más complejo que el mostrado. Podría involucrarse retransmisión. En lugar de solo un MTA en el sitio emisor y uno en el sitio receptor, otros MTA, actuando como cliente o como servidor, pueden retransmitir el correo electrónico (véase la Figura 25.13).

El sistema de retransmisión permite a sitios que no utilizan el protocolo TCP/IP enviar mensajes de correo electrónico a otros sitios que pueden o no utilizar el conjunto de protocolos TCP/IP. Esto se lleva a cabo a través del empleo de una **pasarela de correo electrónico,** que es un MTA de retransmisión que puede recibir correo preparado por un protocolo distinto a SMTP y transformarlo a un formato SMTP antes de enviarlo. También puede recibir un correo electrónico en formato SMTP y cambiarlo a otro formato antes de enviarlo (véase la Figura 25.14).

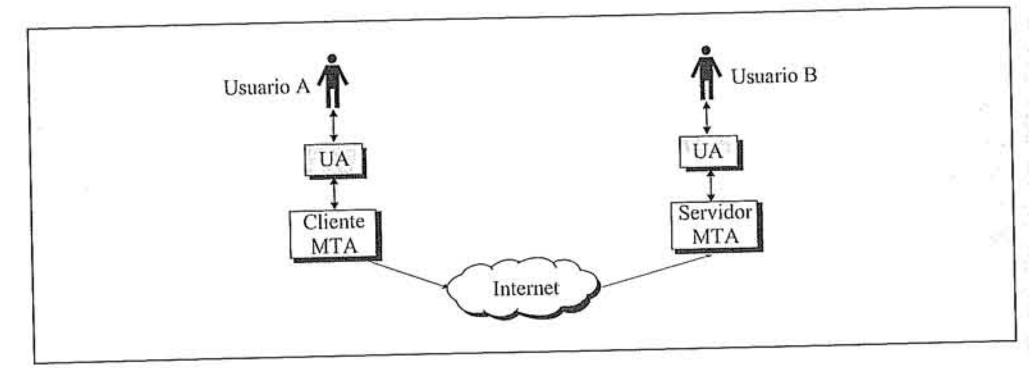


Figura 25.12. *UA y MTA.*

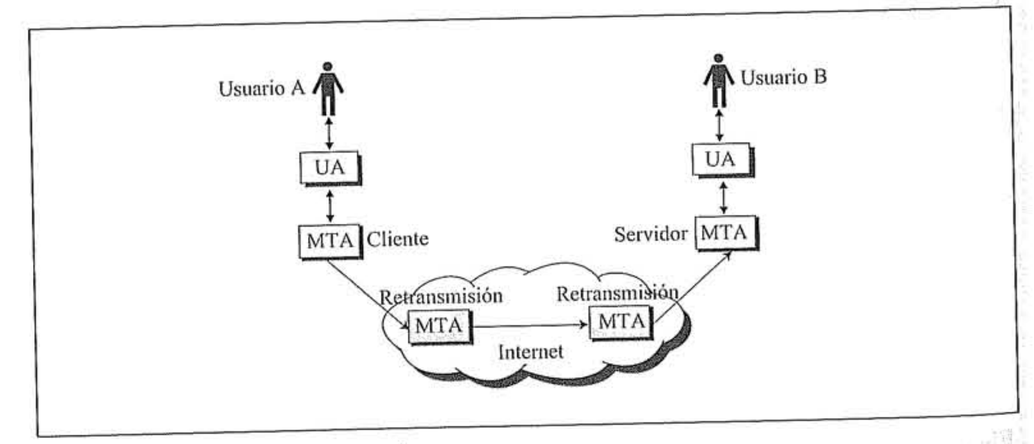


Figura 25.13. *MTA que retransmiten.*

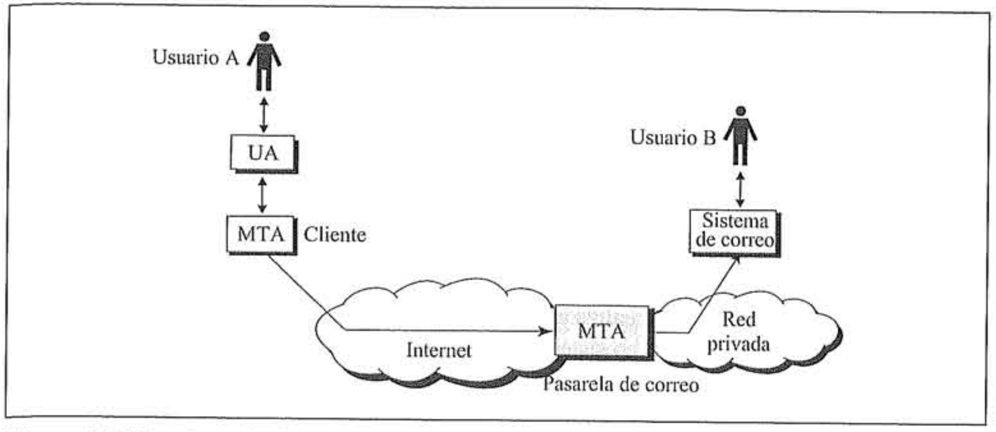


Figura 25.14. *Pasarela de correo electrónico.*

Agente de usuario (UA)

SMTP define un agente de usuario, pero no los detalles de su implementación. El UA normalmente es un programa utilizado para enviar o recibir correo. Programas de agente de usuario populares son: MH, Berkeley Mail, Elm, Zmail y Mush.

Algunos agentes de usuario tienen interfaces de usuarios adicionales que permiten interacciones a través de ventanas con el sistema.

Direcciones

Para entregar un correo electrónico, el sistema de gestión de correo debe utilizar un sistema de direccionamiento único. El sistema de direccionamiento utilizado por SMTP consta de dos partes: una *parte local* y un *nombre de dominio*, separado por el signo @ (véase la Figura 25.15).

Parte local

La parte local define el nombre de un archivo especial, denominado buzón de correo del usuario, donde se almacenan todos los mensajes de correo electrónico recibidos por el agente de usuario.

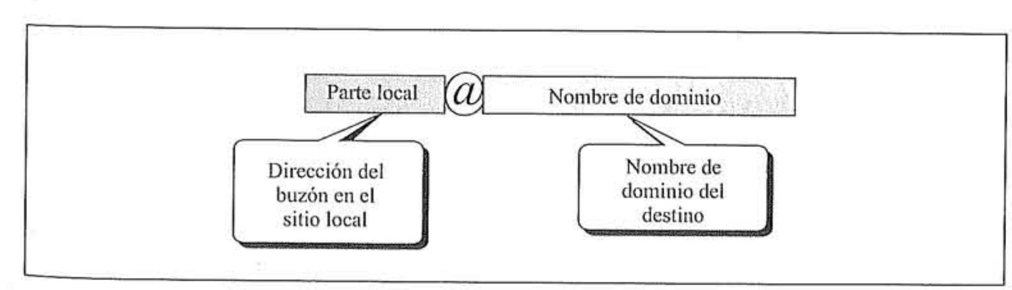


Figura 25.15. *Dirección de correo electrónico.*

Nombre de dominio

La segunda parte de la dirección es el nombre del dominio. Una organización normalmente selecciona una o más estaciones para recibir y enviar mensajes de correo electrónico; en algunas ocasiones se conocen como *intercambiadores de correo.* El nombre de dominio asignado a cada intercambiador de correo o viene de la base de datos del DNS o es un nombre lógico (por ejemplo, el nombre de la organización).

Agente de transferencia de correo (MTA)

La transferencia de correo real se realiza a través de agentes de transferencia de correo (MTA). Para enviar un correo electrónico, un sistema debe tener un cliente MTA, y para recibir correo, un sistema debe tener un servidor MTA. Aunque SMTP no define un MTA específico, *Sendmail* es el sistema MTA utilizado más comúnmente en UNIX.

SMTP simplemente define cómo deben enviarse las órdenes y cómo deben recibirse las respuestas. Cada red es libre de elegir el paquete de *software* para la implementación. La Figura 25.16 ilustra el proceso de envío y recepción de correo electrónico tal y como se ha descrito anteriormente. Para que una computadora sea capaz de enviar y recibir correo electrónico utilizando SMTP, debe tener la mayoría de las entidades (la interfaz de usuario no es necesaria) definidas en la figura. La interfaz de usuario es un componente que crea un entorno amigable para el usuario.

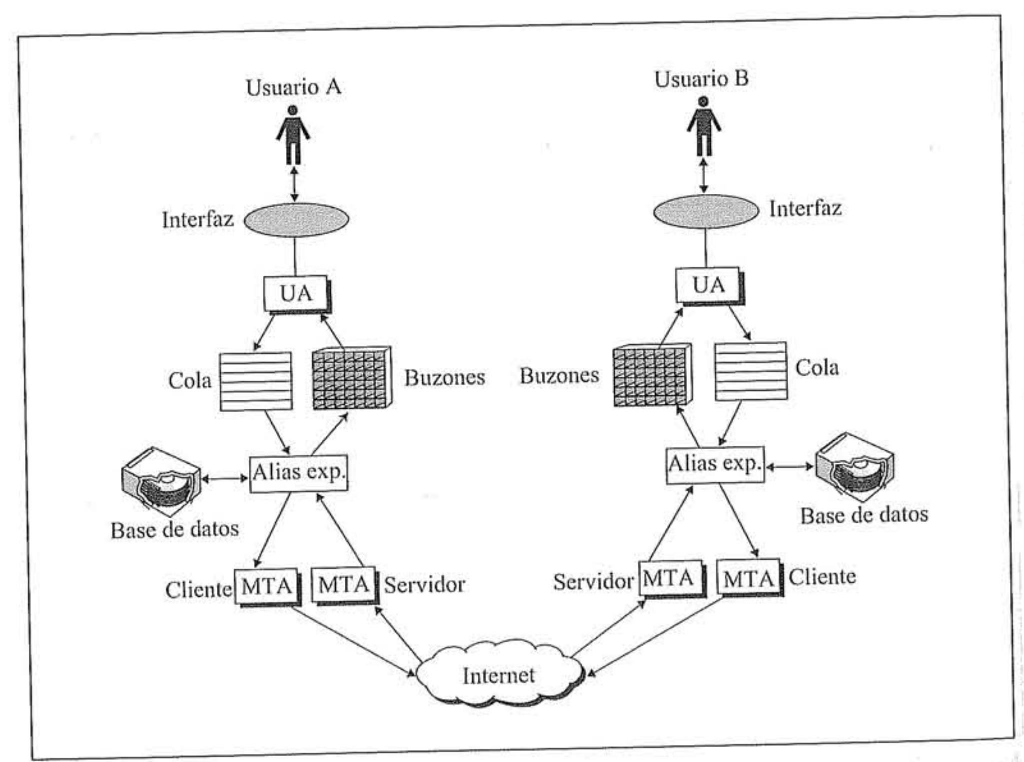


Figura 25.16. *El sistema de correo electrónico completo.*

Ampliaciones multiuso de correo electrónico en internet (MIME)

SMTP es un protocolo de transferencia de correo electrónico sencillo. Su simplicidad, sin embargo, viene con un precio. SMTP sólo puede enviar mensajes en formato ASCII de 7 bits NVT. En otras palabras, tiene algunas limitaciones. Por ejemplo, no se puede utilizar en lenguajes que no estén soportados por los caracteres ASCII de 7 bits (como el francés, el alemán, el hebreo, el ruso, el chino o el japonés). Tampoco se puede utilizar para enviar archivos binarios o enviar sonido o vídeo.

La **ampliación multiuso de correo electrónico en internet (MIME,** *Multipurpose Internet Mail Extensions)* es un protocolo suplementario que permite enviar datos en formato no ASCII a través de SMTP. MIME no es un protocolo de correo electrónico y no puede reemplazar a SMTP, sólo es una extensión a SMTP.

MIME transforma los datos en formato no ASCII en el lado emisor a datos ASCII en formato NVT y lo entrega al cliente SMTP para que sean enviados a través de Internet. El servidor SMTP en el sitio receptor recibe los datos ASCII en formato NVT y los entrega a MIME para que los transforme en los datos originales.

Se puede pensar en MIME como un conjunto de funciones *software* que transforman los datos no ASCII en datos ASCII y viceversa (véase la Figura 25.17).

Protocolo de oficina de correos (POP)

SMTP espera que en la estación destino, el servidor de correo que recibe el correo electrónico, esté en todo momento activo; en caso contrario, no se puede establecer una conexión TCP. Por esta razón, no es práctico establecer una sesión SMTP con una computadora de sobremesa debido a que este tipo de computadoras normalmente se apagan al final del día.

En muchas organizaciones, el correo es recibido por un servidor SMTP que siempre está ejecutando. Este servidor SMTP proporciona servicio de recepción de correo electrónico. El servidor recibe el correo para todas las estaciones de la organización. Las estaciones de trabajo interactúan con la estación SMTP para recuperar los mensajes utilizando un protocolo cliente-servidor como el **Protocolo de oficina de correos (POP,** *Post Office Protocol*), en su versión 3 (POP3).

Aunque POP3 se utiliza para descargar mensajes desde un servidor, es necesario que el cliente SMTP se encuentre ejecutando en las computadoras de sobremesa para enviar los mensajes desde el usuario de la estación de trabajo hasta su servidor de correo SMTP (véase la Figura 25.18).

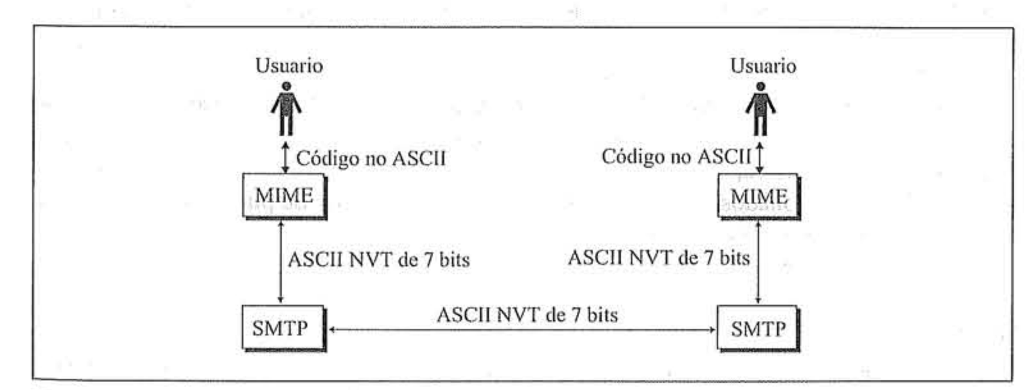


Figura 25.17. *MIME.*

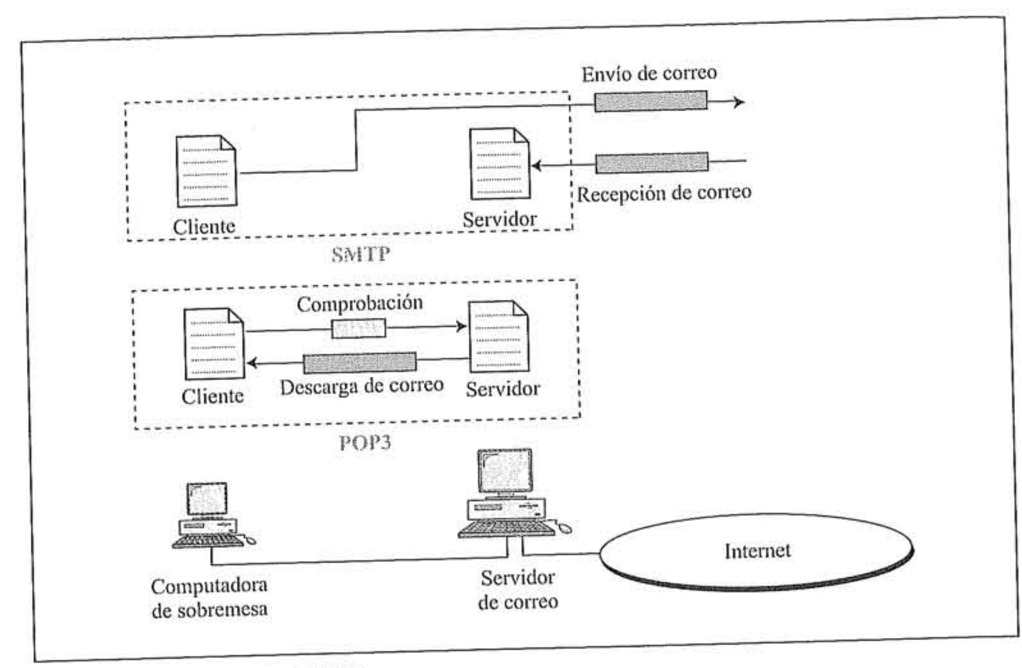


Figura 25.18. *POP3 y SMTP.*

25.8. PROTOCOLO SENCILLO DE GESTIÓN DE RED (SNMP)

El **Protocolo sencillo de gestión de red (SNMP,** *Simple Network Management Protocol*) es un marco de trabajo para gestionar los dispositivos en una internet que utiliza el conjunto de protocolos TCP/IP. Ofrece un conjunto de operaciones fundamentales para monitorizar y mantener una internet.

Concepto

SNMP utiliza el concepto de gestor y agente. Esto es un gestor, normalmente una estación, que controla y monitoriza un conjunto de agentes, normalmente encaminadores (véase la Figura 25.19).

SNMP es un protocolo del nivel de aplicación en el que unas pocas estaciones gestoras controlan un conjunto de agentes. El protocolo se encuentra diseñado en el nivel de aplicación para que pueda monitorizar dispositivos de diferentes fabricantes e instalado en redes físicas distintas. En otras palabras, SNMP libera a las tareas de gestión de las características físicas de los dispositivos gestionados y de la tecnología de red subyacente. Se puede emplear en una internet heterogénea compuesta por diferentes LAN y WAN conectadas por encaminadores o pasarelas de diferentes fabricantes.

Gestores y agentes

Una estación de gestión, denominado **gestor**, es una estación que ejecuta un cliente de SNMP. Una estación gestionada, denominada **agente**, es un encaminador (o una estación) que ejecuta el servidor de SNMP. La gestión se realiza a través de una sencilla interacción entre un gestor y un agente.

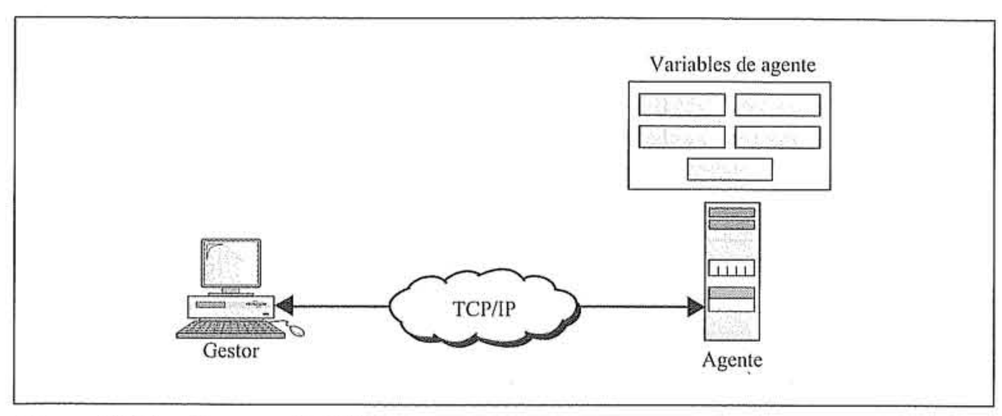


Figura 25.19. *Concepto de SNMP.*

El agente almacena información sobre prestaciones en una base de datos. El gestor tiene acceso a los valores de esta base de datos. Por ejemplo, un encaminador puede almacenar en variables adecuadas el número de paquetes recibidos y reenviados. El gestor puede leer y comparar los valores de estas dos variables para ver si el encaminador se encuentra congestionado o no.

El gestor puede también hacer que el encaminador realice ciertas acciones. Por ejemplo, un encaminador periódicamente comprueba el valor del contador de reinicios para ver cuándo debería reiniciarse. Se reinicia, por ejemplo, si el valor del contador es 0. El gestor puede utilizar esta característica para reiniciar el agente de forma remota en cualquier instante. Simplemente envía un paquete para forzar un valor igual a 0 en el contador.

Los agentes también pueden contribuir en el proceso de gestión. El programa servidor que ejecuta en el agente puede comprobar el entorno y, si nota algo raro, puede enviar un mensaje de advertencia (denominado un *trap*) al gestor.

En otras palabras, la gestión con SNMP se base en tres ideas básicas:

1. Un gestor comprueba a un agente solicitando información que refleje el funcionamiento del agente.
2. Un gestor fuerza a un agente a realizar unas tareas reiniciando los valores de la base de datos del agente.
3. Un agente contribuye al proceso de gestión advirtiendo al gestor de una situación inusual.

Componentes

La gestión en Internet se consigue no sólo a través del protocolo SNMP sino también utilizando otros protocolos que cooperan con SNMP. En el nivel superior, la gestión se lleva a cabo con otros dos protocolos: **estructura de información de gestión (SMI,** *Structure of Management information*) y **base de información de gestión (MIB,** *Management Information Base*). SNMP utiliza los servicios ofrecidos por estos dos protocolos para realizar su trabajo. En otras

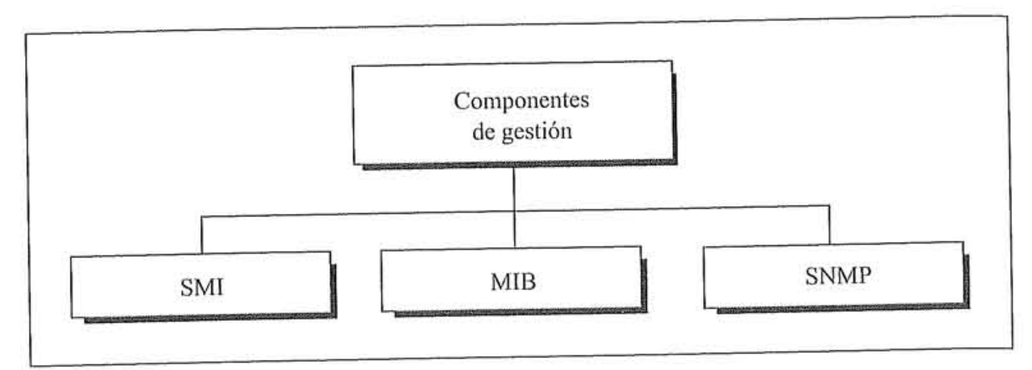


Figura 25.20. *Componentes de gestión de Internet.*

palabras, la gestión es un esfuerzo conjunto realizado por SMI, MIB y SNMP. Los tres utilizan otros protocolos como la notación de sintaxis abstracta 1 (ASN.1) y las **reglas de codificación básicas (BER,** *Basic Encoding Rules*). SMI, MIB y SNMP se describirán en las tres siguientes secciones (véase la Figura 25.20).

SMI

SMI es un componente utilizado en la gestión de red. Sus funciones son nombrar objetos; definir el tipo de datos que se pueden almacenar en un objeto y mostrar cómo codificar los datos a transmitir por la red

MIB

La **base de información de gestión** (MIB) es el segundo componente utilizado en la gestión de red. Cada agente tiene su propio MIB, que es una colección de todos los objetos que puede manejar el gestor. Los objetos en el MIB se clasifican en ocho grupos: sistema, interfaz, traducción de direcciones, ip, icmp, tcp, udp y egp. Estos grupos se encuentran bajo el objeto mib en el árbol de identificadores de objetos (véase la Figura 25.21). Cada grupo tiene variables definidas y/o tablas.

SNMP

SNMP define cinco mensajes: GetRequest, GetNextRequest, SetRequest, GetResponse y Trap (véase la Figura 25.22).

GetRequest. El mensaje GetRequest se envía desde el gestor (cliente) al agente (servidor) para recuperar el valor de una variable.

GetNextRequest. Este mensaje se envía desde el gestor al agente para recuperar el valor de una variable. El valor recuperado es el valor del objeto que sigue al objeto definido en el mensaje. Se utiliza fundamentalmente para recuperar valores de las entradas de una tabla. Si el gestor no conoce los índices de las entradas, no puede recuperar los valores. Sin embargo, puede utilizar GetNextRequest y definir el objeto.

GetResponse. Este mensaje es enviado desde un agente al gestor en respuesta a GetRequest y GetNextRequest. Contiene el valor de la(s) variable(s) solicitada por el gestor.

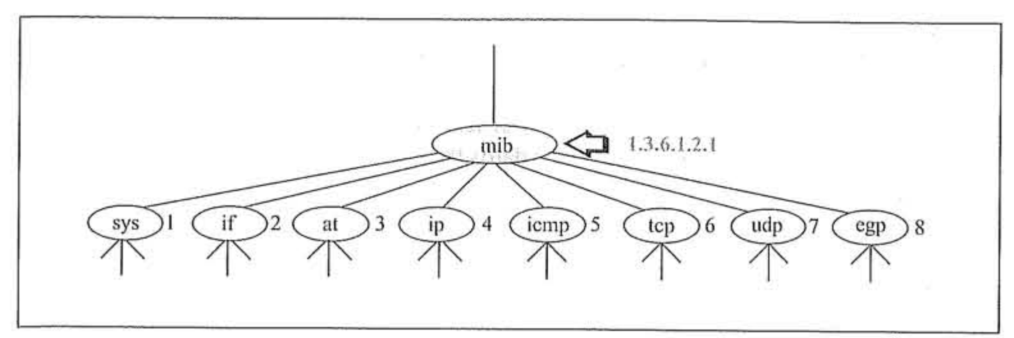


Figura 25.21. *MIB.*

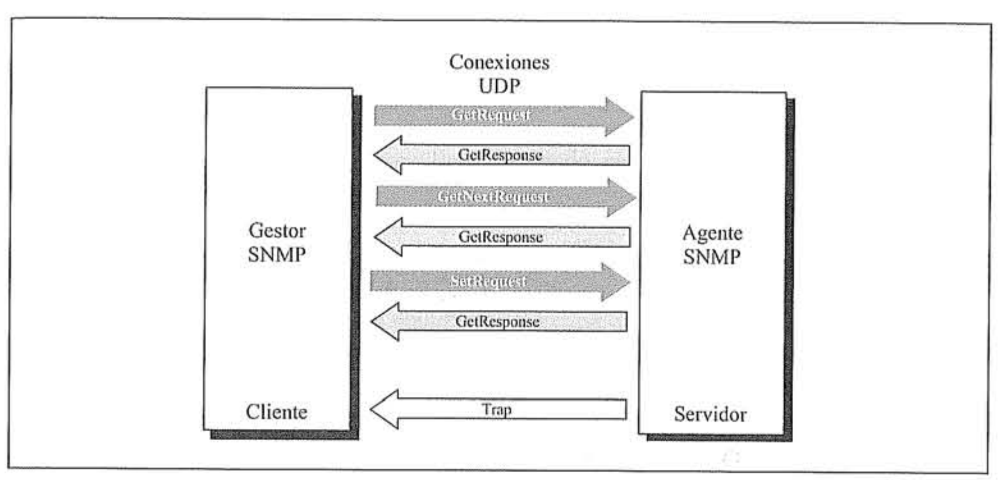


Figura 25.22. *Mensajes SNMP.*

SetRequest. Este mensaje es enviado desde el gestor al agente para fijar (almacenar) un valor en una variable.

Trap. Este mensaje es enviado desde el agente al gestor para informar de un evento. Por ejemplo, si el agente es reiniciado, informa al gestor e indica la hora del reinicio.

25.9. PROTOCOLO DE TRANSFERENCIA DE HIPERTEXTO (HTTP)

El **Protocolo de transferencia de hipertexto (http,** *Hypertext Transfer Protocol*) es un protocolo utilizado principalmente para acceder a datos de la World Wide Web (véase la siguiente sección). El protocolo transfiere datos en la forma de texto plano, hipertexto, sonido, vídeo, etc. Sin embargo, se denomina protocolo de transferencia de hipertexto debido a que su eficiencia permite su uso en un entorno basado en hipertexto en el que hay rápidos saltos de un documento a otro.

HTTP funciona como una combinación de FTP y SMTP. Es similar a FTP debido a que transfiere archivos y utiliza los servicios de TCP. Sin embargo, es mucho más simple que FTP debido a que solo utiliza una conexión TCP. No hay una conexión de control diferente; únicamente se transfieren datos entre el cliente y el servidor.

HTTP es como SMTP debido a que los datos transferidos entre el cliente y el servidor se parecen a mensajes SMTP. Además, el formato de los mensajes es controlado por cabeceras similares a MIME. Sin embargo, HTTP difiere de SMTP en la forma en la que los mensajes son enviados desde el cliente al servidor y desde el servidor al cliente. Al contrario que SMTP, los mensajes HTTP no se están destinados a ser leídos por las personas; son leídos e interpretados por el servidor HTTP y por el cliente HTTP (**navegador**). Los mensajes SMTP se almacenan y reenvían, pero los mensajes HTTP se entregan de forma inmediata.

La idea de HTTP es muy sencilla. Un cliente envía una petición, que parece como correo electrónico, al servidor. El servidor envía la respuesta, que se parece a una respuesta de correo, al cliente. El mensaje de petición y respuesta transportan datos en la forma de una carta con formato similar a MIME.

Las órdenes enviadas del cliente al servidor se insertan en un mensaje de petición. El contenido del archivo solicitado u otra información se inserta en el mensaje de respuesta.

Transacción HTTP

La Figura 25.23 ilustra la transacción HTTP entre un cliente y un servidor. El servidor inicializa la transacción enviando un mensaje de petición. El servidor responde enviando una respuesta.

Mensajes

Existen dos tipos generales de mensajes HTTP, mostrados en la Figura 25.24: petición y respuesta. Ambos mensajes siguen el mismo formato.

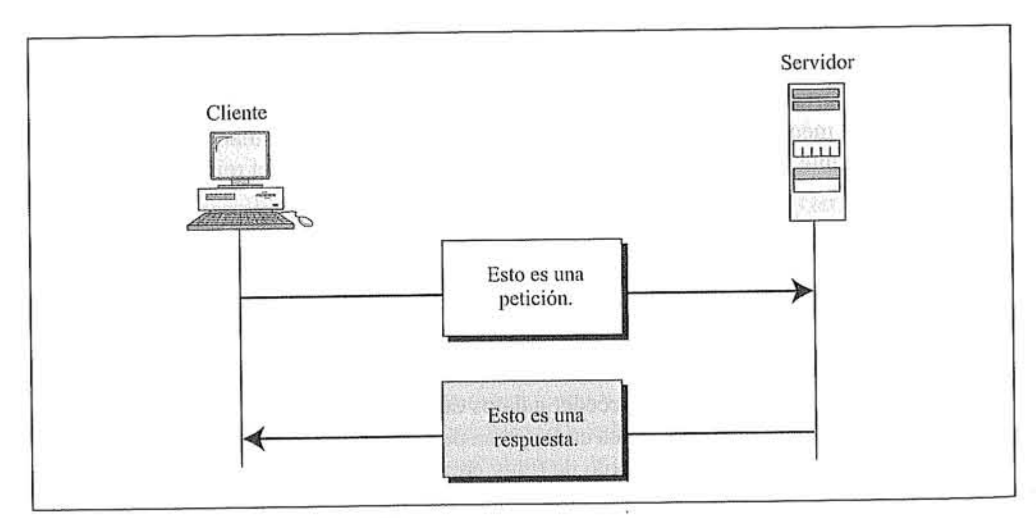


Figura 25.23. *Transacción HTTP.*

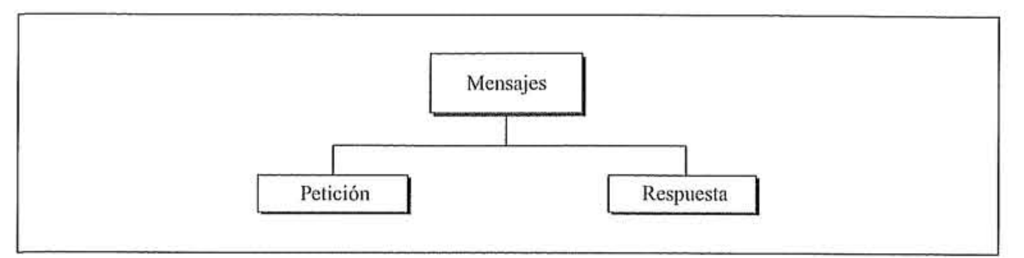


Figura 25.24. *Clasificación de los mensajes.*

Mensajes de petición

Un mensaje de petición consta de una línea de petición, cabeceras y en algunas ocasiones un cuerpo. Véase la Figura 25.25.

Mensaje de respuesta

Un mensaje de respuesta contiene una línea de estado, cabeceras y en algunas ocasiones un cuerpo. Véase la Figura 25.26.

Localizador uniforme de recursos (URL)

Un cliente que quiere acceder a un documento necesita una dirección. Para facilitar el acceso a los documentos distribuidos a través del mundo, HTTP utiliza el concepto de localizadores. El **localizador uniforme de recursos (URL** *Uniform Resource Locator*) es un estándar para especificar cualquier tipo de información en Internet. Un URL define cuatro cosas: método, estación, puerto y camino (véase la Figura 25.27).

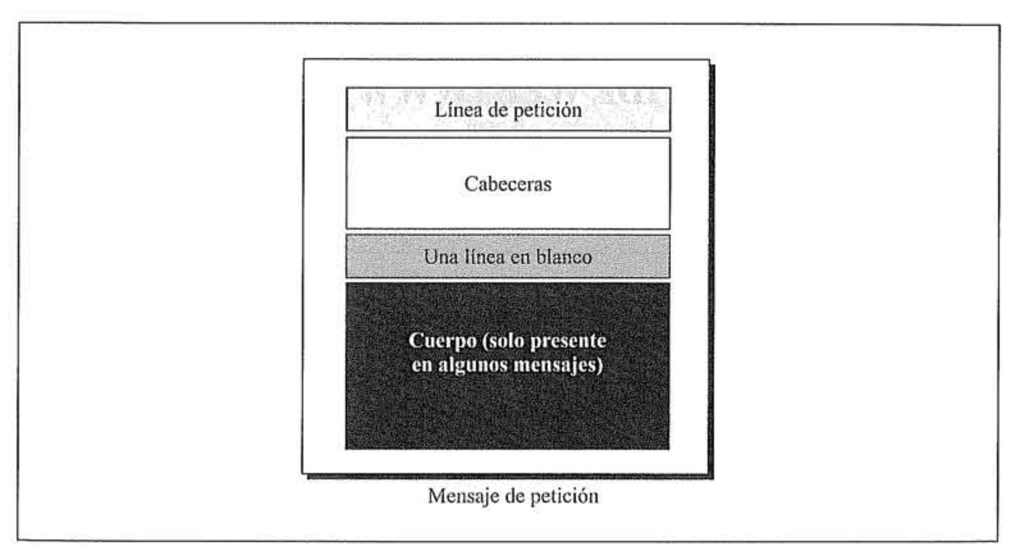


Figura 25.25. *Mensaje de petición.*

Línea de estado

Cabeceras

Una línea en blanco

Cuerpo (solo presente en algunos mensajes)

Mensaje de respuesta

Figura 25.26. *Mensaje de respuesta.*

El *método* es el protocolo utilizado para recuperar el documento, por ejemplo HTTP. La *estación* es la computadora donde se encuentra localizada la información, aunque el nombre de la computadora puede ser un alias. Las páginas web normalmente se almacenan en computadoras, y a las computadoras se les da por lo general un alias que comienza con los caracteres «www». Esto no es obligatorio, sin embargo, ya que la estación puede tener cualquier nombre.

El URL opcionalmente puede contener el número de puerto del servidor. Si el *puerto* está incluido, se debería insertar entre la estación y el camino, y debería separarse de la estación mediante dos puntos.

El *camino* es la ruta del archivo donde se encuentra la información. Observe que el camino puede contener el carácter «/» que, en el sistema operativo UNIX, separa los directorios de los subdirectorios y los archivos.

25.10. WORLD WIDE WEB (WWW)

La **World Wide Web (WWW)** o simplemente **web,** es un repositorio de información diseminada por todo el mundo y enlazada entre sí. La WWW tiene una única combinación de fle-

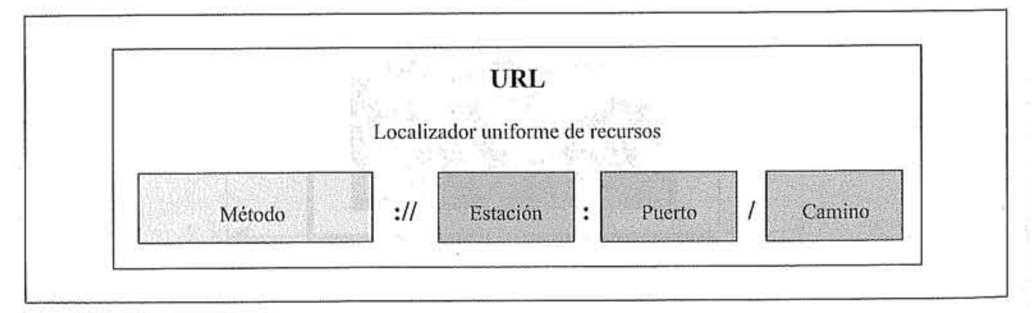


Figura 25.27. *URL.*

xibilidad, portabilidad y características cómodas para el usuario que la distinguen de otros servicios ofrecidos por Internet.

El proyecto WWW fue iniciado por el CERN (Laboratorio Europeo de física de partículas) para crear un sistema que gestiona los recursos distribuidos necesarios por los investigadores.

La WWW actualmente es un servicio cliente-servidor distribuido, en el que el cliente que utiliza un navegador puede acceder a un servicio utilizando un servidor. Sin embargo, el servicio ofrecido se encuentra distribuido en muchos lugares denominados *sitios web* (véase la Figura 25.28).

Hipertexto e hipermedia

La WWW utiliza el concepto de hipertexto e hipermedia. En un entorno de hipertexto, la información se almacena en un conjunto de documentos que se enlazan juntos utilizando el concepto de punteros. Un elemento puede asociarse con otro documento utilizando un puntero. El lector que está navegando a través de un documento puede moverse a otros documentos eligiendo (haciendo clic) el elemento al que se encuentra enlazado el otro documento. La Figura 25.29 muestra el concepto de hipertexto.

Mientras que los documentos de hipertexto contienen solo texto, los documentos hipermedia puede almacenar figuras, gráficos y sonido.

Una unidad de hipertexto o hipermedia disponible en la Web se denomina *página*. La página inicial de una organización o de una persona se denomina **página principal (homepage).**

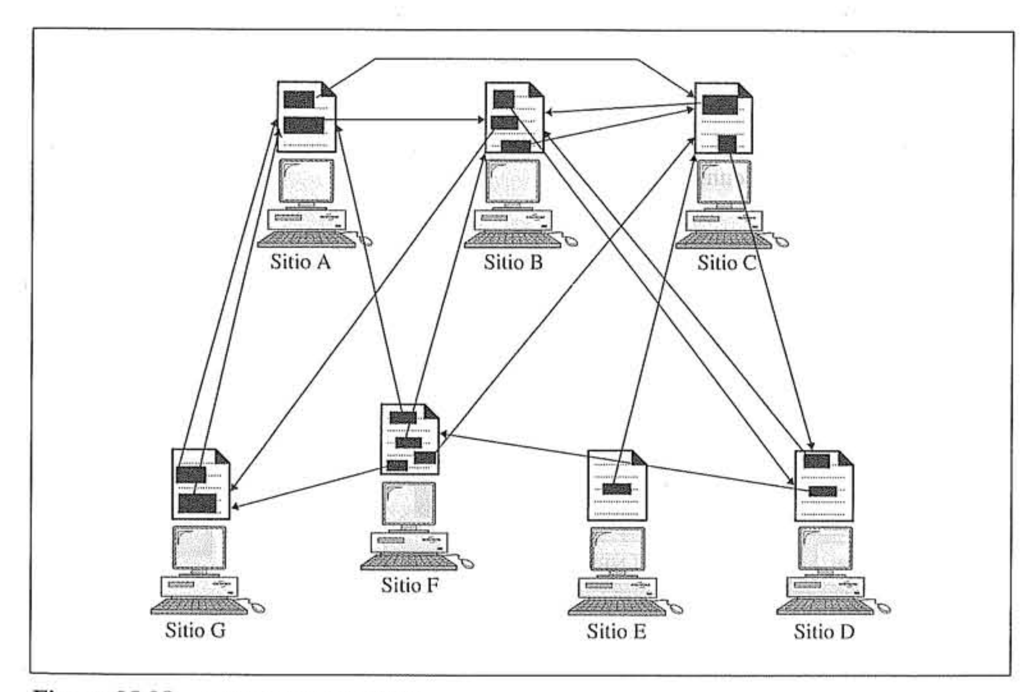


Figura 25.28. *Servicios distribuidos.*

Computadoras

Una computadora es una máquina electrónica digital compuesta por una CPU, una unidad de control y memoria.

Se utiliza para hacer cálculos lógicos y matemáticos

CPU

Parte de una computadora que controla el flujo de datos.

Unidad de control

Puede ser RAM o ROM. Se utiliza para almacenar información.

Memoria

Memoria de acceso aleatorio.

RAM

Memoria de solo lectura.

ROM

Figura 25.29. *Hipertexto.*

Arquitectura del navegador

Los diversos fabricantes ofrecen navegadores comerciales que interpretan y visualizan un documento web, y todos ellos utilizan casi la misma arquitectura. Cada navegador normalmente consta de tres partes: un controlador, programas cliente e intérpretes. El controlador recibe entrada del teclado o del ratón y utiliza los programas cliente para acceder al documento. Una vez que el documento ha sido accedido, el controlador utiliza uno de los intérpretes para mostrar el documento en la pantalla. Los programas cliente pueden ser uno de los métodos (protocolos) descritos anteriormente como HTTP, FTP o TELNET. El intérprete puede ser de HTML o de Java, dependiendo del tipo de documento (véase la Figura 25.30).

Los documentos en la WWW se pueden agrupar en tres categorías: estáticos, dinámicos y activos (véase la Figura 25.31). Esta clasificación se basa en el momento en el que se determina el contenido del documento.

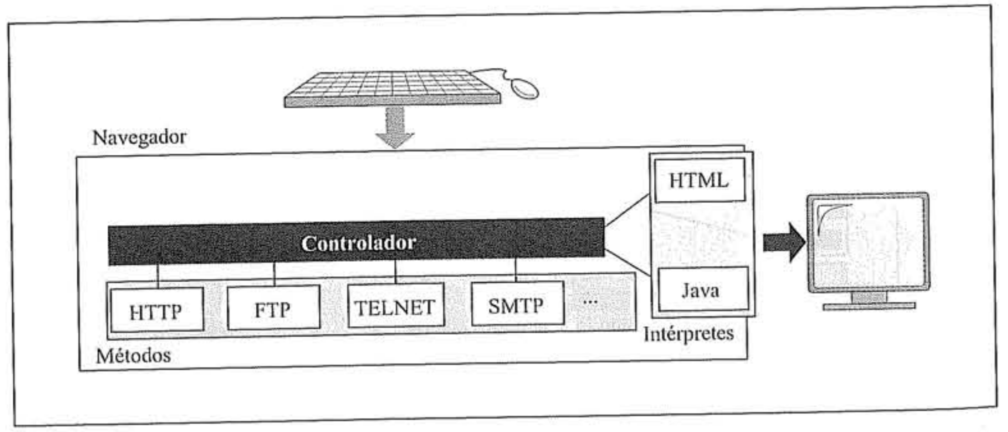


Figura 25.30. *Arquitectura de un navegador.*

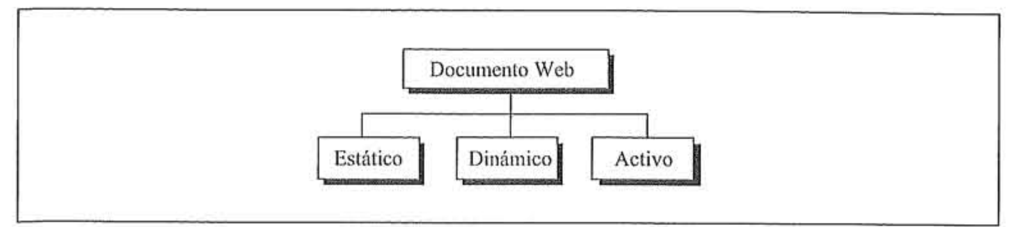


Figura 25.31. *Clases de documentos Web.*

Documentos estáticos

Los **documentos estáticos** son documentos de contenido fijo que se crean y se almacenan en un servidor. El cliente solo puede obtener una copia del documento. En otras palabras, el contenido del archivo se determina en el momento de su creación, no cuando se utiliza. Por supuesto, el contenido en el servidor se puede cambiar, pero el usuario no puede cambiarlo. Cuando un cliente accede al documento, se le envía una copia del mismo. El usuario puede luego utilizar un navegador para mostrar el documento (véase la Figura 25.32).

HTML

El lenguaje de marcado de hipertexto (HTML) es un lenguaje para crear **páginas web**. El término *lenguaje de marcado* viene de la industria de publicación de libros. Antes de que un libro sea editado e impreso, el editor lee el manuscrito y coloca muchas marcas en él. Estas marcas indican al diseñador cómo formatear el texto. Por ejemplo, si el editor quiere que una parte de una línea se imprima en negrita, dibujará una línea gruesa debajo de esa parte. De la misma forma, los datos para una página web pueden ser formateados para su interpretación por un navegador.

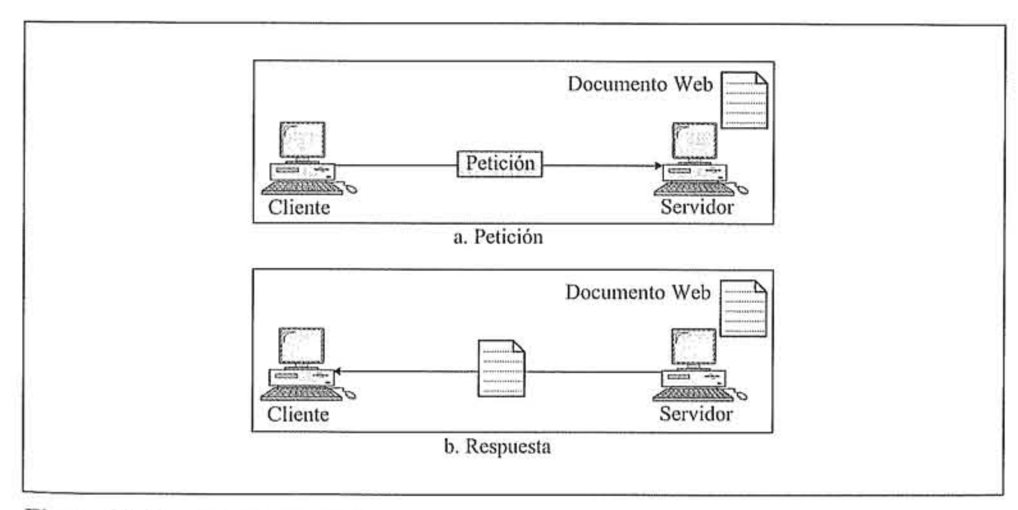


Figura 25.32. *Documento estático.*

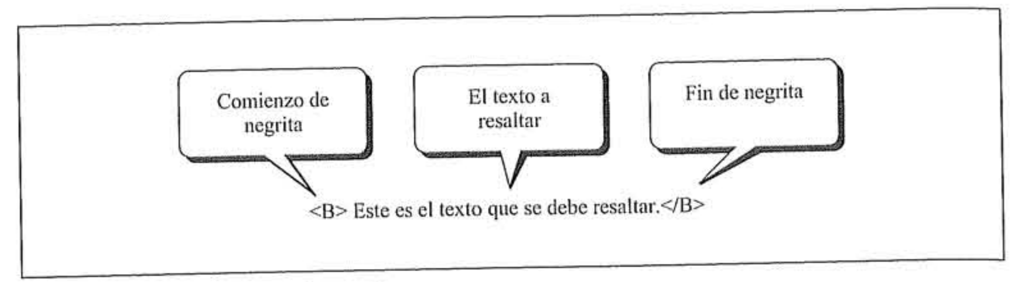


Figura 25.33. *Etiquetas de negrita.*

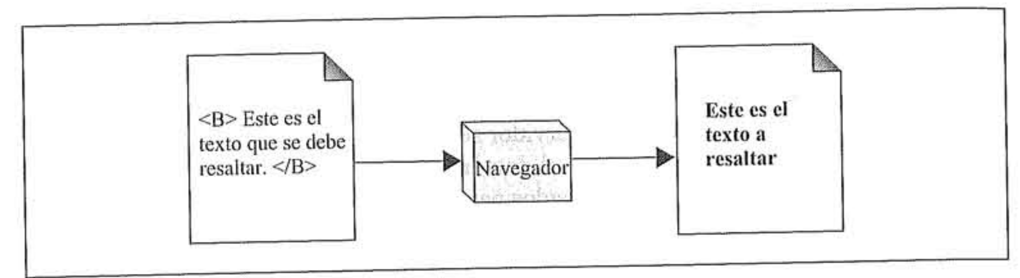


Figura 25.34. *Efecto de las etiquetas de negrita.*

Se va a explicar la idea con un ejemplo. Para que parte de un texto se muestre en negrita con HTML, se deben incluir etiqueta de comienzo y el final de negrita (marcas) en el texto, como se muestra en la Figura 25.33.

Las dos etiquetas <B> y </B> son instrucciones para el navegador. Cuando el navegador ve estas dos marcas, sabe que el texto debe mostrarse en negrita (véase la Figura 25.34).

HTML permite utilizar solo caracteres ASCII tanto para el texto principal como para las instrucciones de formateo. De esta forma, todos las computadoras pueden recibir el documento entero como un documento ASCII. El texto principal son los datos, y las instrucciones de formateo pueden ser utilizadas por el navegador para dar formato a los datos.

Estructura de una página Web

Una página web puede constar de dos partes: la cabecera y el cuerpo.

Cabecera. La cabecera es la primera parte de la página Web. La cabecera contiene el título de la página y otros parámetros que el navegador utilizará.

Cuerpo. El contenido real de la página se encuentra en el cuerpo, que incluye el texto y las etiquetas. Mientras que el texto es la información real contenida en una página, las etiquetas definen la apariencia del documento. Cada etiqueta en HTML es un nombre seguido por una lista opcional de atributos, todos ellos encerrados entre los símbolos menor y mayor (< y >).

Un atributo, si se encuentra presente, está seguido por un signo igual y el valor del atributo. Algunas etiquetas puede utilizarse solas; otras deben utilizarse en parejas. Las que se utilizan en parejas se denominan *etiquetas de comienzo y fin*. La etiqueta de comienzo puede tener atributos y valores. La etiqueta final no puede tener atributos ni valores, pero debe tener el carácter «/» antes del nombre.

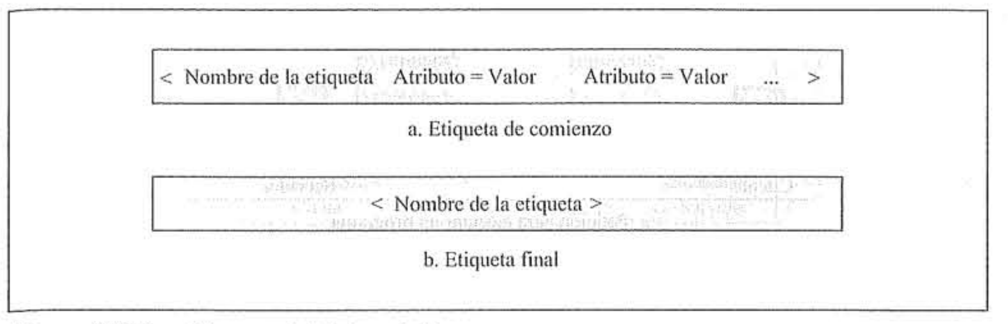


Figura 25.35. *Etiquetas de inicio y de fin.*

Etiquetas

El navegador toma la decisión sobre la estructura del texto de acuerdo a las etiquetas, que son marcas que se insertan en el texto. Una etiqueta se encierra entre los caracteres < y >, y normalmente se encuentran emparejadas. La etiqueta inicial comienza con el nombre de la etiqueta y la de finalización comienza con el carácter/seguido por el nombre de la etiqueta.

Una etiqueta puede tener una lista de atributos, cada uno de los cuales puede estar seguido por el signo igual y un valor asociado con el atributo. La Figura 25.35 muestra el formato de una etiqueta.

Documentos dinámicos

Los **documentos dinámicos** no existen en un formato predefinido. En su lugar, un documento dinámico se crea en un servidor web cuando el navegador solicita el documento. Cuando llega una petición, el servidor web ejecuta un programa de aplicación que crea el documento dinámico. El servidor devuelve la salida del programa como respuesta al navegador que solicitó el documento. Debido a que se crea un documento en cada petición, el contenido del documento dinámico puede variar de una petición a otra. Un ejemplo muy simple de documento dinámico es obtener la hora y la fecha de un servidor. La hora y la fecha son un tipo de información que es dinámica ya que cambian cada instante. El cliente puede solicitar que el programa servidor ejecuta un programa como el programa *date* de UNIX y enviar el resultado del programa al cliente. La Figura 25.36 ilustra las etapas involucradas en el envío de un documento dinámico.

Un servidor que gestiona documentos dinámicos sigue estas etapas:

1. El servidor examina el URL para determinar si define un documento dinámico.
2. Si el URL define un documento dinámico, el servidor ejecuta el programa.
3. El servidor envía la salida del programa al cliente (navegador).

Interfaz de pasarela común (CGI)

La **interfaz de pasarela común (CGI** *Common Grateway Interface*) es una tecnología que crea y gestiona documentos dinámicos. La CGI es un conjunto de estándares que define cómo se debería escribir un documento dinámico, cómo se debería proporcionar la entrada al programa y cómo se debería utilizar el resultado de salida.

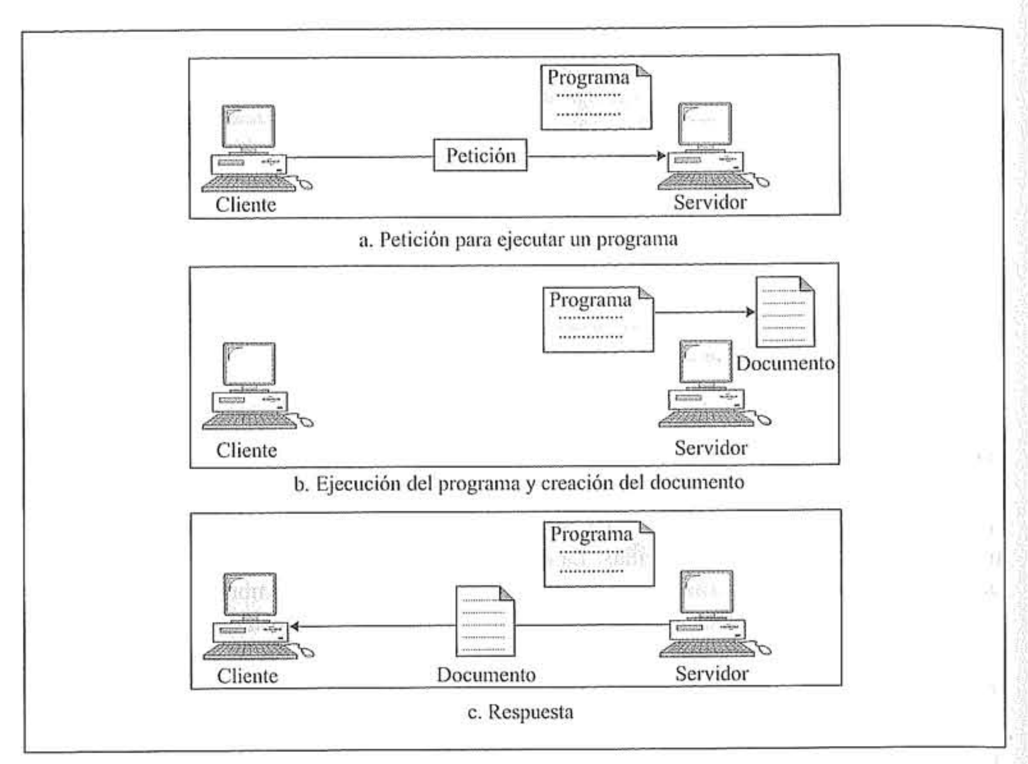


Figura 25.36. *Documento dinámico.*

La CGI no es un lenguaje nuevo; solo permite a los programadores utilizar cualquier lenguaje como C, C++, Bourne Shell, Korn Shell, C Shell, Tcl o Perl. La única cosa que define la CGI es un conjunto de reglas y términos que deberían seguir los programadores.

El uso del término *común* en CGI indica que el estándar define un conjunto de reglas que son comunes a cualquier lenguaje o plataforma. El término *pasarela* significa que el programa CGI es una pasarela que se puede utilizar para acceder a otros recursos como bases de datos, paquetes gráficos, etc. El término *interfaz* significa que hay un conjunto de términos predefinidos, variables, llamadas y otras que se pueden utilizar en cualquier programa CGI.

Programa CGI

Un programa CGI en su forma más simple es un código escrito en uno de los lenguajes que admite la CGI. Cualquier programador puede codificar una secuencia de pensamientos en un programa y, conociendo la sintaxis de uno de los lenguajes anteriormente mencionados, puede escribir un programa CGI muy sencillo.

Documentos activos

Para muchas aplicaciones, se necesita un programa que se ejecute en el sitio cliente. A estos programas se les denomina **documentos activos**. Por ejemplo, imagine que se quiere escribir un programa que cree gráficos animados en la pantalla o interacciones con el usuario. El programa definitivamente necesita ejecutarse en el cliente donde la animación o la interacción

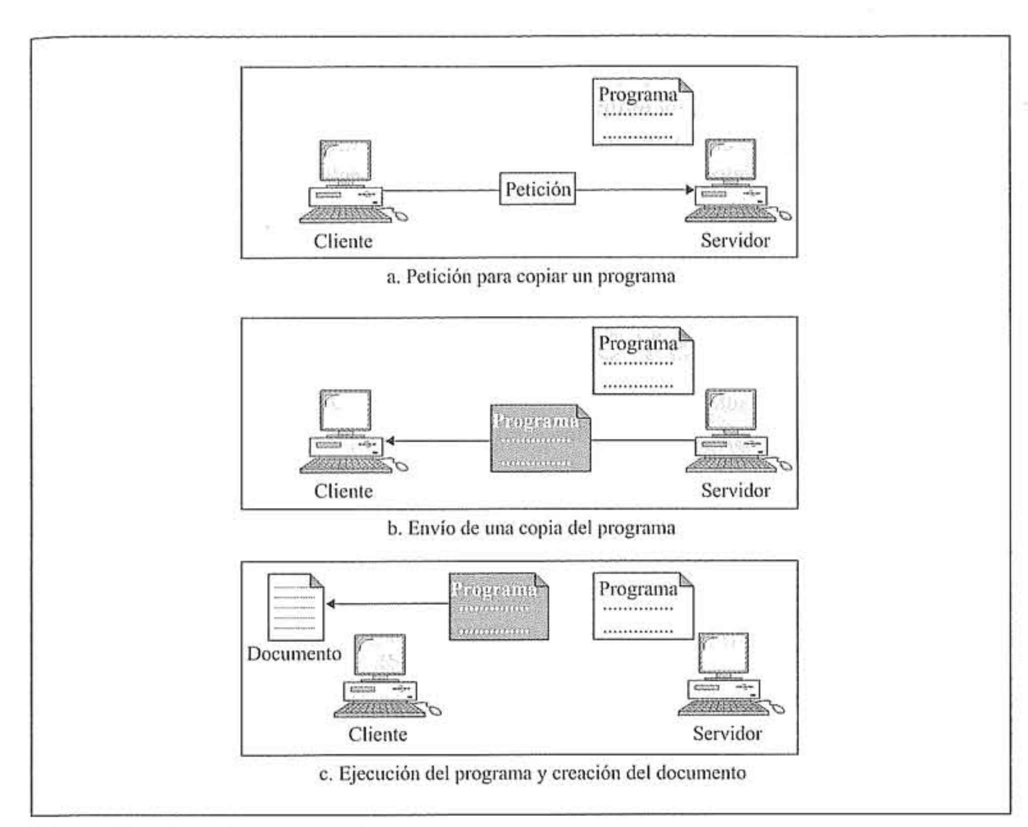


Figura 25.37. *Documento activo.*

va a tener lugar. Cuando un navegador solicita un documento activo, el servidor envía una copia del documento en la forma de un código de bytes. El documento se ejecuta a continuación en el cliente (en el navegador) (véase la Figura 25.37).

Un documento activo en el servidor se almacena en la forma de código binario. Sin embargo, no añade ninguna sobrecarga en el servidor de la misma forma que lo hace un documento dinámico. Aunque un documento activo no se ejecuta en el servidor, se almacena como un documento binario que es recuperado por el cliente. Cuando un cliente recibe el documento, puede también almacenarlo en su propia área de almacenamiento. De esta forma, el cliente puede ejecutar el documento de nuevo sin realizar otra petición.

Un documento activo se transporta desde el servidor hasta el cliente en formato binario. Esto significa que se puede comprimir en el sitio servidor y descomprimir en el cliente, ahorrando ancho de banda en la transmisión.

Java

Java es una combinación de lenguaje de alto nivel, entorno de ejecución, y una biblioteca de clases que permite al programador escribir un documento activo y ejecutarlo en un navegador. También se puede utilizar como un programa independiente sin necesidad de utilizar un navegador. Sin embargo, Java se utiliza fundamentalmente para crear *applets*.

Java es un lenguaje orientado a objetos, que es sintácticamente y semánticamente muy similar a C++. Sin embargo, no tiene algunas de las complejidades de C++, como la sobrecarga de operadores o la herencia múltiple. Java es además independiente del *hardware* y no utiliza punteros. En Java, como en cualquier lenguaje orientado a objetos, un programador define un conjunto de objetos y un conjunto de operaciones (métodos) para operar sobre esos objetos. Es un lenguaje *tipado*, lo que significa que el programador debe declarar el tipo de cualquier dato antes de poder utilizarlo.

25.11. TÉRMINOS Y CONCEPTOS CLAVE

agente
agente de transferencia de correo (MTA)
agente de usuario (UA)
base de información de gestión (MIB)
cliente
correo electrónico (*e-mail*)
documento activo
documento dinámico
documento estático
dominio de país
dominio genérico
dominio inverso
estructura de información de gestión (SMI)
extensiones de correo electrónico multipropósito (MIME)
gestor
inicio de sesión local
inicio de sesión remota
interfaz de pasarela común (CGI)
Java
lenguaje de marcado de hipertexto (HTML)
localizador uniforme de recursos (URL)
modelo cliente-servidor
navegador
página principal
página web
pasarela de correo
programilla (applet)
protocolo de arranque (BOOTP)
protocolo de configuración dinámica de estación (DHCP)
protocolo de oficina de correos (POP)
protocolo de transferencia de archivos (FTP)
protocolo de transferencia de archivos trivial (TFTP)
protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP)
protocolo sencillo de gestión de red (SNMP)
protocolo sencillo de transferencia de correo (SMTP)
regla de codificación básica (BER)
servidor
sistema de nombres de dominio (DNS)
terminal de red (TELNET)
terminal virtual de red (NVT)
transferencia de datos
UNIX
web
World Wide Web (WWW)

25.12. RESUMEN

- El nivel de aplicación de TCP/IP se corresponde con los niveles de sesión, presentación y aplicación del modelo OSI.
- En el modelo cliente-servidor, el cliente ejecuta un programa que solicita un servicio y el servidor ejecuta un programa que proporciona el servicio. Estos dos programas se comunican entre sí.

- Un programa servidor puede ofrecer servicio a muchos programas clientes.
- El programa servidor se encuentra siempre ejecutando, mientras que el programa cliente sólo ejecuta cuando es necesario.
- Los servicios utilizados con frecuencia por muchos usuarios tiene programas cliente-servidor específicos.
- Un cliente es un programa finito que ejecuta en una máquina local y que solicita un servicio de un servidor.
- Un servidor es un programa infinito que ejecuta en una máquina remota y que ofrece servicio a los clientes.
- El sistema de nombres de dominio (DNS) es una aplicación cliente-servidor que identifica a cada estación en Internet con un nombre único amigable al usuario.
- El espacio de nombres de dominio se divide en tres categorías: dominios genéricos, dominios de países y dominios inversos.
- Hay siete dominios genéricos, cada uno de los cuales especifica un tipo de organización.
- Cada dominio de país especifica un país.
- El dominio inverso busca un nombre de dominio a partir de una dirección IP dada. Esto es lo que se denomina resolución de dirección a nombre.
- TELNET es una aplicación cliente-servidor que permite a un usuario iniciar una sesión en una máquina remota, dando al usuario acceso al sistema remoto.
- TELNET utiliza un sistema de terminal virtual de red (NVT) para codificar los caracteres del sistema local. En un servidor, NVT decodifica los caracteres a una forma aceptable por la máquina remota.
- El protocolo de transferencia de archivos (FTP) es una aplicación cliente-servidor de TCP/IP que permite copiar archivos de una estación a otra.
- FTP requiere dos conexiones para transferir los datos: una conexión de control y una conexión de datos.
- El protocolo de transferencia de archivos trivial (TFTP) es un protocolo de transferencia de archivos sencillo sin las complejidades y sofisticaciones de FTP.
- El protocolo TCP/IP que soporta el correo electrónico en Internet se denomina protocolo sencillo de correo electrónico (SMTP).
- Tanto el cliente SMTP como el servidor SMTP requieren un agente de usuario (UA) y un agente de transferencia de correo (MTA).
- El agente de usuario prepara el mensaje, crea el sobre y coloca el mensaje en el sobre.
- La dirección de correo electrónico consta de dos partes: una dirección local (buzón del usuario) y un nombre de dominio. La forma es nombrelocal@nombredominio
- Una pasarela de correo traduce formatos de correos electrónicos.
- Las extensiones de correo electrónico multipropósito (MIME) son unas extensiones de SMTP que permiten la transferencia de mensajes multimedia.
- El protocolo de oficina de correos (POP) es un protocolo utilizado por un servidor de correo junto con SMTP para recibir y almacenar correos electrónicos para las estaciones.

- El protocolo sencillo de gestión de red (SNMP) es un marco de trabajo para manejar los dispositivos en una internet que utiliza el conjunto de protocolos TCP/IP.
- Un gestor, normalmente una estación, controla y monitoriza a un conjunto de agentes, normalmente encaminadores.
- El gestor es una estación que ejecuta el programa cliente SNMP.
- El agente es un encaminador que ejecuta el programa servidor SNMP.
- SNMP utiliza los servicios de otros dos protocolos: estructura de información de gestión (SMI) y base de información de gestión (MIB).
- MIB es una colección de grupos de objetos que pueden ser manejados por SNMP.
- SNMP define cinco mensajes: GetRequest, GetNextRequest, SetRequest, GetResponse y Trap.
- El protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP) es el principal protocolo utilizado para acceder a datos en la World Wide Web (WWW).
- El localizador uniforme de recursos (URL) es un estándar para especificar cualquier tipo de información en la WWW.
- La WWW es un repositorio de información diseminada por todo el mundo y enlazada junta.
- Hipertexto e Hipermedia son documentos enlazados unos con otros a través de punteros.
- Los navegadores interpretan y visualizan un documento web.
- Un navegador consta de un controlador, programas cliente e intérpretes.
- Un documento web se puede clasificar en estático, dinámico y activo.
- Un documento estático es uno cuyo contenido es fijo y se almacena en un servidor. El cliente no puede cambiar el documento del servidor.
- El lenguaje de marcado de hipertexto (HTML) es un lenguaje utilizado para crear páginas web estáticas.
- Una página web tiene una cabecera y un cuerpo.
- Las etiquetas proporcionan estructura a un documento, definen títulos y cabeceras, formatos del texto, flujo de control y datos, figuras insertadas, enlaces a otros documentos y definen código ejecutable.
- Un documento web dinámico se crea en un servidor sólo cuando un navegador lo solicita.
- La interfaz de pasarela común (CGI) es un estándar para crear y manejar documentos web dinámicos.
- Un documento activo es una copia de un programa recuperado por el cliente y ejecutado en el cliente.
- Java es una combinación de lenguaje de alto nivel, entorno en tiempo de ejecución y una biblioteca de clases que permite al programador escribir un documento activo y a un navegador ejecutarlo.

25.13. MATERIAL PRÁCTICO

Preguntas de revisión

1. Compare los niveles del conjunto de protocolos TCP/IP con los niveles del modelo OSI.
2. En el modelo cliente-servidor, ¿cuál es el papel del programa cliente? ¿Cuál es el papel del programa servidor?
3. ¿Por qué el programa cliente es finito y el servidor es infinito?
4. ¿Qué tipo de información de configuración debería tener una computadora en Internet?
5. ¿Cuáles son los dos métodos disponibles para una computadora sin disco para obtener la información de configuración?
6. ¿En qué es diferente BOOTP de DHCP?
7. ¿Cuál es el objetivo del sistema de nombres de dominio?
8. Analice las tres principales divisiones del espacio de nombres de dominio.
9. ¿Qué programa de aplicación permite la conexión a un sistema remoto de forma que el terminal local aparece como un terminal del sistema remoto?
10. ¿Por qué se necesita NVT en el inicio de sesión remoto?
11. Analice las conexiones TCP necesarias en FTP.
12. ¿En qué se diferencia TFTP de FTP?
13. ¿Cuál es la función de SMTP?
14. ¿Cuál es la diferencia entre un agente de usuario (UA) y un agente de transferencia de correo (MTA)?
15. ¿En qué mejora MIME a SMTP?
16. ¿Por qué una aplicación como POP es necesaria en el correo electrónico?
17. ¿Cuáles son las tres funciones que puede realizar SNMP para manejar los dispositivos de red?
18. ¿Cuáles son los tres protocolos que interactúan para manejar una red?
19. ¿Cómo se relacionan HTTP y WWW en Internet?
20. Compare y contraste los tres tipos de documentos WWW.
21. ¿Cuál es objetivo de HTML?
22. ¿Cuál es la relación entre CGI y los documentos dinámicos?
23. ¿Qué es Java?

Preguntas con respuesta múltiple

24. _____ puede solicitar un servicio.
    a. una interfaz de *sockets*
    b. un puerto
    c. un cliente
    d. un servidor
25. El programa cliente es _____ debido a que termina después de haber sido servido.
    a. activo
    b. pasivo
    c. infinito
    d. finito
26. El programa servidor es _____ debido a que siempre está disponible, esperando las peticiones de los clientes.

a. activo
b. pasivo
c. finito
d. infinito

27. El nivel de aplicación de TCP/IP se corresponde con los niveles _____ del modelo OSI.
a. físico, enlace de datos y red
b. transporte y red
c. sesión y transporte
d. sesión, presentación y aplicación

28. Para encontrar la dirección IP de una estación conocido el nombre de dominio, se pueden utilizar los _____
a. dominios inversos
b. dominios genéricos
c. dominios de países
d. b o c

29. El inicio de sesión remoto involucra _____
a. NVT
b. TELNET
c. TCP/IP
d. todos los anteriores

30. El _____ en un sitio remoto envía los caracteres recibidos al sistema operativo.
a. controlador del terminal
b. controlador de pseudoterminal
c. cliente TELNET
d. servidor TELNET

31. El _____ traduce los caracteres locales a un formato NVT.
a. controlador de terminal
b. controlador de pseudoterminal
c. cliente TELNET
d. servidor TELNET

32. El _____ traduce los caracteres NVT en una forma aceptable por el sistema operativo.
a. controlador de terminal
b. controlador de pseudoterminal
c. cliente TELNET
d. servidor TELNET

33. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es cierta?
a. FTP permite a sistemas con estructuras de directorios diferentes transferir archivos
b. FTP permite un sistema que utiliza ASCII y un sistema que usa EBCDIC para transferir archivos
c. FTP permite a una PC y a una estación de trabajo Sun transferir archivos
d. todas las anteriores

34. Durante una sesión FTP, la conexión de control está abierta _____.
a. exactamente una vez
b. exactamente dos veces
c. tantas veces como sea necesario
d. todas las anteriores

35. Durante una sesión FTP, la conexión de datos permanece abierta _____.

a. exactamente una vez.
b. exactamente dos veces
c. tantas veces como sea necesario
d. todas las anteriores

36. El objetivo del agente de usuario es _____.
a. preparar el mensaje
b. crear el sobre
c. transferir el mensaje a través de Internet
d. a y b

37. El objetivo de agente de transferencia de correo es _____.
a. preparar el mensaje
b. crear el sobre
c. transferir el mensaje a través de Internet
d. a y b

38. Cuando un mensaje es enviado utilizando SMTP, _____ UA(s) es/son involucrados.
a. solo uno
b. solo dos
c. solo tres
d. al menos dos

39. El correo electrónico no puede ser enviado _____.
a. si el sitio emisor no utiliza TCP/IP
b. si el sitio receptor no utiliza TCP/IP
c. a través de redes privadas
d. ninguna de las anteriores

40. _____ puede transformar correo que no está en formato SMTP a formato SMTP y viceversa.
a. una cola de correo
b. una pasarela de correo
c. un archivo de correo
d. un intercambiador de correo

41. En la dirección de correo electrónico, ¿cuál es el nombre del dominio?
a. mackenzie
b. pit.arc.nasa.gov
c. mackenzie@pit.arc.nasa.gov
d. a y b

42. MIME permite enviar datos _____ a través de SMTP.
a. de sonido
b. en formato no ASCII
c. de imagen
d. todos los anteriores

43. ¿Cuál de los siguientes se asocia con SNMP?
a. MIB
b. SMI
c. VER
d. todos los anteriores

44. _____ ejecuta el programa cliente SNMP; _____ ejecuta el programa servidor de SNMP.

a. un gestor; un gestor
b. un agente; un agente
c. un gestor; un agente
d. un agente; un gestor

45. _____ nombra a los objetos, define el tipo de datos que se pueden almacenar en un objeto y codifica los datos para la transmisión por red.
a. MIB
b. SMI
c. SNMP
d. ASN.1

46. ¿Cuál de los siguientes es una colección de objetos a ser gestionados?
a. MIB
b. SMI
c. SNMP
d. ASN.1

47. ¿Cuál de los siguientes es un servicio de un gestor?
a. recuperar el valor de un objeto definido en un agente
b. almacenar el valor de un objeto definido en un agente
c. enviar un mensaje de alarma al agente
d. a y b

48. _____ especifica qué tipos de datos se encuentran disponibles para el MIB.
a. BER
b. SNMP
c. ASN.1
d. SMI

49. Un agente SNMP puede enviar mensajes _____.
a. GetRequest
b. SetRequest
c. GetNExtRequest
d. Trap

50. Un gestor SNMP puede enviar mensajes _____.
a. GetRequest
b. SetRequest
c. GetNExtRequest
d. todos los anteriores

51. Un agente SNMP puede enviar mensajes
a. GetResponse
b. GetRequest
c. SetRequest
d. GetNextRequest

52. HTTP tiene similitudes con ____ y _____.
a. FTP; SNMP
b. FTP; SMTP
c. FTP; MTV
d. FTP; URL

53. Un mensaje de petición siempre contiene _____.
a. una cabecera y un cuerpo

b. una línea de solicitud y una cabecera
c. una línea de estado, una cabecera y un cuerpo
d. una línea de estado y una cabecera

54. ¿Qué necesita el URL para acceder a un documento?
a. el nombre del archivo
b. la computadora
c. el método de recuperación
d. todos los anteriores

55. ¿Cuál de los siguientes es un método de recuperación?
a. HTTP
b. FTP
c. TELNET
d. todos los anteriores

56. Los documentos hipertexto se enlazan a través de _____.
a. DNS
b. TELNET
c. punteros
d. páginas *home*

57. ¿Cuál de los siguientes no es un intérprete?
a. HTTP
b. HTML
c. CGI
d. Java

58. ¿Cuáles son los componentes de un navegador?
a. método de recuperación, estación, nombre del archivo
b. controlador, programa cliente, intérprete
c. hipertexto, hipermedia, HTML
d. todos los anteriores

59. ¿Qué tipo de documento web se ejecuta en el sitio cliente?
a. estático
b. dinámico
c. activo
d. todos los anteriores

60. ¿Qué tipo de documento web se crea en el servidor sólo cuando lo solicita un cliente?
a. estático
b. dinámico
c. activo
d. todos los anteriores

61. ¿Qué tipo de documento web tiene un contenido fijo y se crea y almacena en el servidor?
a. estático
b. dinámico
c. activo
d. todos los anteriores

62. Un programa puede utilizar _____ para escribir un programa CGI.
a. Shell scripts con Bourne
b. Perl

c. C
d. cualquiera de los anteriores

63. ¿Qué tipo de documento web se transporta desde el servidor al cliente en formato binario?
a. estático
b. dinámico
c. activo
d. todos los anteriores

64. ____ se utiliza para permitir el uso de documentos activos.
a. HTML
b. CGI
c. Java
d. todos los anteriores

65. Java es _____.
a. un lenguaje de programación
b. un entorno en tiempo de ejecución
c. una biblioteca de clases
d. todos los anteriores

66. Un *applet* es un programa de aplicación de un documento _____.
a. estático
b. activo
c. pasivo
d. dinámico

Ejercicios

67. ¿Qué tipo de dominio se utiliza en su compañía o escuela (genérico o de país)?
68. La mayoría de las compañías prefieren dominios genéricos a dominios de países. ¿Por qué?
69. ¿Cuál es el dominio genérico más común que utiliza en sus mensajes de correo electrónico?
70. Rompa su dirección de correo electrónico en el nombre de dominio y en el nombre local.
71. ¿Conoce a alguien que utilice un dominio de país?
72. ¿Ha utilizado alguna vez un dominio inverso?
73. ¿Ha utilizado alguna vez TELNET? ¿Cuándo?
74. ¿Puede una orden TELNET utilizar una dirección IP?
75. Cuando quiere enviar un correo electrónico, ¿qué ocurre si su computadora no puede encontrar un servidor de DNS?
76. ¿Qué programa de agente de usuario utiliza en su sistema?
77. ¿Utiliza su programa de correo electrónico MIME?
78. ¿Utiliza su programa de correo electrónico POP?
79. Utilice la orden get de FTP y muestre el resultado.
80. Utilice la orden put de FTP y muestre el resultado.
81. Busque la lista de órdenes de usuario de FTP.
82. Investigue sobre el FTP anónimo y analice su función.
83. ¿Ha creado alguna vez una lista de correo?
84. Busque al menos cinco etiquetas diferentes utilizadas en HTML.

APÉNDICE A

Código ASCII

El **código estándar americano para el intercambio de información (ASCII,** *American Standard Code for Information Interchange*) es el código más utilizado para codificar caracteres visualizables así como no visualizables (caracteres de control).

ASCII utiliza siete bits para codificar cada carácter. Puede, por tanto, representar hasta 128 caracteres. La Tabla A.1 lista los caracteres ASCII y sus códigos tanto en formato binario como en formato hexadecimal.

Tabla A.1. *Tabla ASCII*

Decimal	*Hexadecimal*	*Binario*	*Carácter*	*Descripción*
0	00	0000000	NUL	Nulo
1	01	0000001	SOH	comienzo de cabecera
2	02	0000010	STX	comienzo de texto
3	03	0000011	ETX	fin de texto
4	04	0000100	EOT	fin de transmisión
5	05	0000101	ENQ	petición
6	06	0000110	ACK	reconocimiento
7	07	0000111	BEL	campana
8	08	0001000	BS	retroceso
9	09	0001001	HT	tabulador horizontal
10	0A	0001010	LF	retorno de línea

Tabla A.1. *Tabla ASCII* (continuación)

Decimal	*Hexadecimal*	*Binario*	*Carácter*	*Descripción*
11	0B	0001011	VT	tabulador vertical
12	0C	0001100	FF	avance de página
13	0D	0001101	CR	retorno de carro
14	0E	0001110	SO	terminar modo mayúsculas
15	0F	0001111	SI	iniciar modo mayúsculas
16	10	0010000	DLE	escape de enlace de datos
17	11	0010001	DCI	control de dispositivo 1
18	12	0010010	DC2	control de dispositivo 2
19	13	0010011	DC3	control de dispositivo 3
20	14	0010100	DC4	control de dispositivo 4
21	15	0010101	NAK	confirmación negativa
22	16	0010110	SYN	sincronización de la comunicación
23	17	0010111	ETB	fin de bloque de transmisión
24	18	0011000	CAN	cancelar
25	19	0011001	EM	fin del medio
26	1A	0011010	SUB	sustituir
27	1B	0011011	ESC	escape
28	1C	0011100	FS	separador de archivo
29	1D	0011101	GS	separador de grupo
30	1E	0011110	RS	separador de registro
31	1F	0011111	US	separador de unidad
32	20	0100000	SP	espacio
33	21	0100001	!	exclamación

Tabla A.1. *Tabla ASCII* (continuación)

Decimal	*Hexadecimal*	*Binario*	*Carácter*	*Descripción*
34	22	0100010	“	dobles comillas
35	23	0100011	#	sostenido
36	24	0100100	$	dólar
37	25	0100101	%	porcentaje
38	26	0100110	&	*símbolo de and*
39	27	0100111	‘	apóstrofo
40	28	0101000	(	abrir paréntesis
41	29	0101001	)	cerrar paréntesis
42	2A	0101010	*	asterisco
43	2B	0101011	+	más
44	2C	0101100	,	coma
45	2D	0101101	-	guión
46	2E	0101110	.	punto
47	2F	0101111	/	barra inclinada
48	30	0110000	0	
49	31	0110001	1	
50	32	0110010	2	
51	33	0110011	3	
52	34	0110100	4	
53	35	0110101	5	
54	36	0110110	6	
55	37	0110111	7	
56	38	0111000	8	

Tabla A.1. *Tabla ASCII* (continuación)

Decimal	*Hexadecimal*	*Binario*	*Carácter*	*Descripción*
57	39	0111001	9	
58	3A	0111010	:	dos puntos
59	3B	0111011	;	punto y coma
60	3C	0111100	<	menor que
61	3D	0111101	=	igual que
62	3E	0111110	>	mayor que
63	3F	0111111	?	interrogación
64	40	1000000	@	arroba
65	41	1000001	A	
66	42	1000010	B	
67	43	1000011	C	
68	44	1000100	D	
69	45	1000101	E	
70	46	1000110	F	
71	47	1000111	G	
72	48	1001000	H	
73	49	1001001	I	
74	4A	1001010	J	
75	4B	1001011	K	
76	4C	1001100	L	
77	4D	1001101	M	
78	4E	1001110	N	
79	4F	1001111	O	

Tabla A.1. *Tabla ASCII* (continuación)

Decimal	*Hexadecimal*	*Binario*	*Carácter*	*Descripción*
80	50	1010000	P	
81	51	1010001	Q	
82	52	1010010	R	
83	53	1010011	S	
84	54	1010100	T	
85	55	1010101	U	
86	56	1010110	V	
87	57	1010111	W	
88	58	1011000	X	
89	59	1011001	Y	
90	5A	1011010	Z	
91	5B	1011011	[	apertura de corchete
92	5C	1011100	\	Barra inclinada
93	5D	1011101	]	cierre de corchete
94	5E	1011110	^	
95	5F	1011111	_	subrayado
96	60	1100000	`	acento grave
97	61	1100001	a	
98	62	1100010	b	
99	63	1100011	c	
100	64	1100100	d	
101	65	1100101	e	
102	66	1100110	f	

Tabla A.1. *Tabla ASCII* (continuación)

Decimal	*Hexadecimal*	*Binario*	*Carácter*	*Descripción*
103	67	1100111	g	
104	68	1101000	h	
105	69	1101001	i	
106	6A	1101010	j	
107	6B	1101011	k	
108	6C	1101100	l	
109	6D	1101101	m	
110	6E	1101110	n	
111	6F	1101111	o	
112	70	1110000	p	
113	71	1110001	q	
114	72	1110010	r	
115	73	1110011	s	
116	74	1110100	t	
117	75	1110101	u	
118	76	1110110	v	
119	77	1110111	w	
120	78	1111000	x	
121	79	1111001	y	
122	7A	1111010	z	
123	7B	1111011	{	apertura de llave
124	7C	1111100	|	barra
125	7D	1111101	}	cierre de llave
126	7E	1111110	~	tilde
127	7F	1111111	DEL	borrar

APÉNDICE B

Sistemas de numeración y transformación

Las computadoras actuales utilizan cuatro sistemas de numeración: decimal, binario, octal y hexadecimal. Cada una tiene ventajas para diferentes niveles de procesamiento digital. En la primera sección de este apéndice se describe cada uno de estos sistemas. En la segunda sección, se muestra cómo se puede transformar un número representado en un sistema a otro número representado en otro sistema.

B.1. SISTEMAS DE NUMERACIÓN

Todos los sistemas de numeración analizados en esta sección son posicionales, lo que significa que la posición de un símbolo en relación a otro símbolo determina su valor. Dentro de un número, a cada símbolo se le denomina dígito (dígito decimal, binario, octal o hexadecimal). Por ejemplo, el número decimal 798 tiene tres dígitos decimales. Los dígitos se organizan según el valor ascendente, y van desde el valor más bajo situado a la derecha al más alto situado a la izquierda. Por esta razón, al dígito situado más a la izquierda se le conoce como el más significativo y al situado más a la derecha se le conoce como el dígito menos significativo (véase la Figura B.1). Por ejemplo, en el número decimal 1234, el dígito más significativo es el 1 y el menos significativo es el 4.

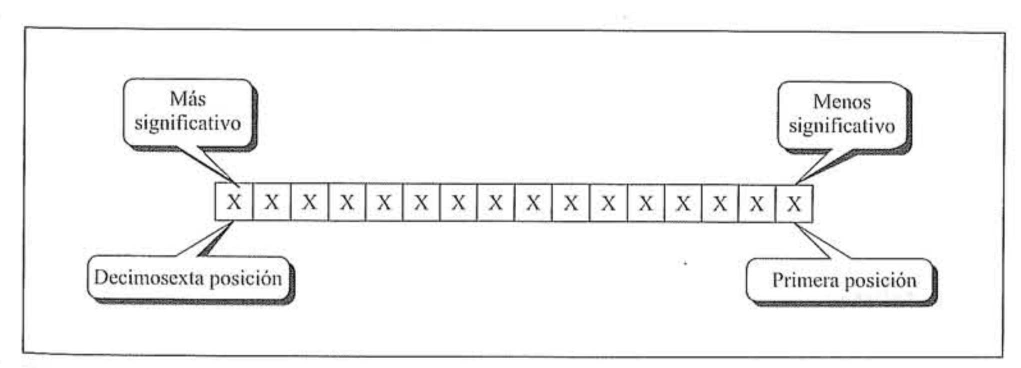


Figura B.1. *Posiciones de los dígitos y su significado.*

Números decimales

El **sistema de numeración decimal** es el sistema más familiar que se utilizan en la vida diaria. Todos los términos utilizados para indicar cantidades contables se basan en este sistema y, de hecho, cuando hablamos de otros sistemas de numeración, tendemos a indicar sus cantidades por sus equivalentes decimales. También se denomina sistema de base 10. El nombre *decimal* proviene del latín *deci*, que significa 10. El sistema decimal utiliza 10 símbolos para representar valores cuantitativos: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9.

> Los números decimales utilizan 10 símbolos: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9.

Valor y peso

En el sistema decimal, cada peso es igual a 10 elevado a la potencia de su posición. El peso para la primera posición es, por tanto, 10^0, que es igual a 1. El peso para la segunda posición es 10^1, que es igual a 10. El valor de un dígito en la segunda posición, por tanto, es igual a valor del dígito por 10. El peso de la tercera posición es 10^2. El valor de un dígito en la tercera posición es igual a valor de dígito por 100 (véase la Tabla B.1).

El valor del número como un todo es la suma de cada dígito por su peso. La Figura B.2 muestra los pesos del número decimal 4567.

Números binarios

El **sistema de numeración binario** proporciona la base para todas las operaciones que realizan las computadoras. Las computadoras trabajan manipulando corrientes eléctricas de tipo *encendido* y *apagado*. El sistema binario utiliza dos símbolos, 0 y 1, por lo que se corresponde de forma natural con un dispositivo de dos estados, como un conmutador, con el 0 representando el estado de apagado y el 1 representando el estado de encendido. También se denomina base 2, la palabra *binaria* proviene del latín *bi*, que significa 2.

Tabla B.1. *Pesos decimales*

Posición	Quinta	Cuarta	Tercera	Segunda	Primera
Peso	10^4 (10.000)	10^3 (1.000)	10^2 (100)	10^1 (10)	10^0 (1)

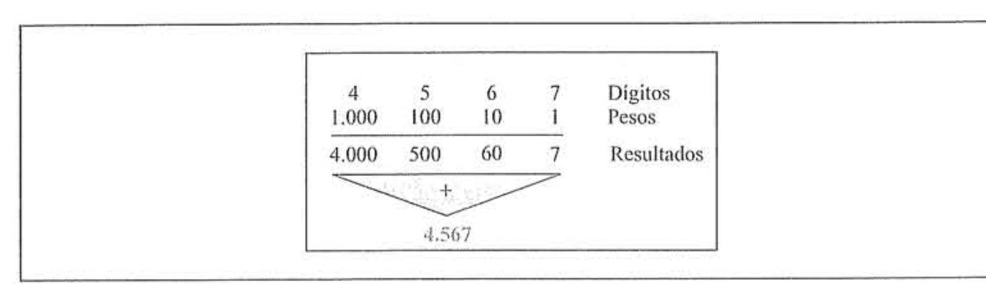


Figura B.2. *Ejemplo de número decimal.*

Tabla B.2. *Pesos binarios*

Posición	Quinta	Cuarta	Tercera	Segunda	Primera
Peso	2^4 (16)	2^3 (8)	2^2 (4)	2^1 (2)	2^0 (1)

> Los números binarios utilizan dos símbolos: 0 y 1

Valor y peso

El sistema binario también es un sistema basado en pesos. Cada dígito tiene un peso de acuerdo a su posición en el número. El peso en el sistema binario es dos elevado a la potencia representada por una posición, como se muestra en la Tabla B.2. Observe que el valor de los pesos se muestra en términos decimales a continuación del peso. El valor de un dígito determinado es igual a su valor por el peso de su posición.

Para calcular el valor de un número, se multiplica cada dígito por el peso de su posición y luego se suman juntos todos los resultados. La Figura B.3 muestra los pesos del número binario 1.101. Como se puede ver, 1.101 es el equivalente binario del número decimal 13.

Números octales

El **sistema de numeración octal** se utiliza en los programas de computadora para representar números binarios de forma compacta. También se denomina base 8. El término *octal* proviene del griego *octa*, que significa ocho. Ocho es potencia de 2 (2^3) y, por tanto, se puede utilizar para modelar conceptos binarios. El sistema octal utiliza ocho símbolos para representar valores: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

> Los números octales utilizan ocho símbolos: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

Peso y valor

El sistema octal es también un sistema basado en pesos. Cada dígito tiene un peso basado en su posición dentro del número. El peso en octal es ocho elevado a la potencia representada por una posición, como se muestra en la Tabla B.3. De nuevo, el valor representado por cada peso se indica en decimal a continuación del peso. El valor de un determinado dígito es igual

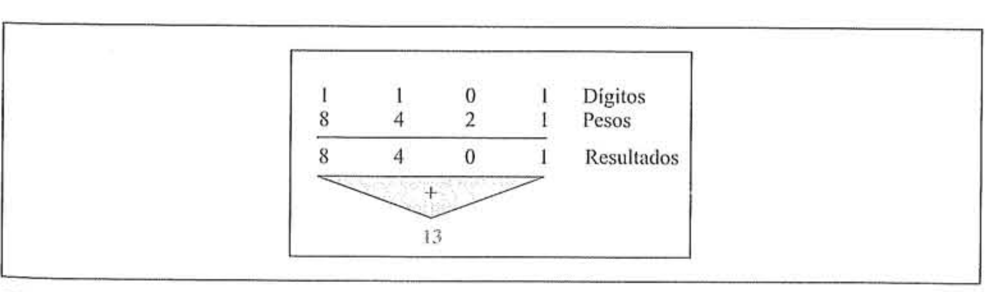


Figura B.3. *Ejemplo de número binario.*

Tabla B.3. *Pesos octales*

Posición	Quinta	Cuarta	Tercera	Segunda	Primera
Peso	8^4 (4.096)	8^3 (512)	8^2 (64)	8^1 (8)	8^0 (1)

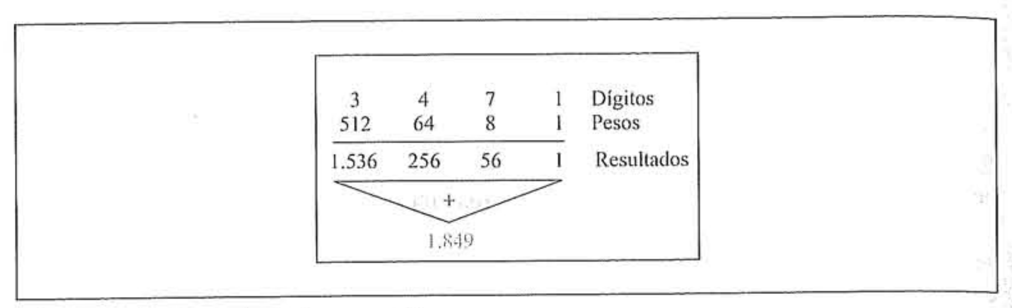


Figura B.4. *Ejemplo de número octal.*

a su valor por el peso de su posición. Por ejemplo, un 4 en la tercera posición tiene un equivalente decimal de 4 × 64 o 256.

Para calcular el valor de un número octal, se multiplica el valor de cada dígito por el peso de su posición y luego se suman juntos todos los resultados. La Figura B.4 muestra los pesos para el número octal 3.471. Como se puede ver, 3.471 es el equivalente octal del decimal 1.849.

Números hexadecimales

El término *hexadecimal* proviene del griego *hexadeca*, que significa 16 (*hex* significa 6 y *deca* significa 10). El **sistema de numeración hexadecimal** utiliza base 16. Dieciséis también es potencia de 2 (2^4). Al igual que el sistema octal, el sistema hexadecimal lo utilizan los programadores para representar números binarios de forma compacta. El código hexadecimal utiliza 16 símbolos para representar datos: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E y F.

Los números hexadecimales utilizan 16 símbolos: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E y F.

Peso y valor

Al igual que los otros, el sistema hexadecimal es un sistema basado en pesos. Cada dígito tiene un peso de acuerdo a su posición en el número. El peso se utiliza para calcular el valor representado por el dígito. El peso en hexadecimal es 16 elevado a la potencia representada por una posición, como se muestra en la Tabla B.4. De nuevo, el valor representado por cada dígito se indica en decimal al lado del peso. El valor de un dígito específico es igual a su valor por el peso de su posición. Por ejemplo, un 4 en la tercera posición tiene el equivalente decimal 4 × 256 o 1.024. Para calcular el valor de un número hexadecimal, se multiplica cada dígito por el peso de su posición y se suman juntos los resultados. La Figura B.5 muestran los pesos para el número hexadecimal 3.471. Como se puede apreciar, 3.471 en hexadecimal es equivalente al número decimal 13.425.

Tabla B.4. *Pesos hexadecimales*

Posición	Quinta	Cuarta	Tercera	Segunda	Primera
Peso	16^4 (65.836)	16^3 (4.096)	16^2 (256)	16^1 (16)	16^0 (1)

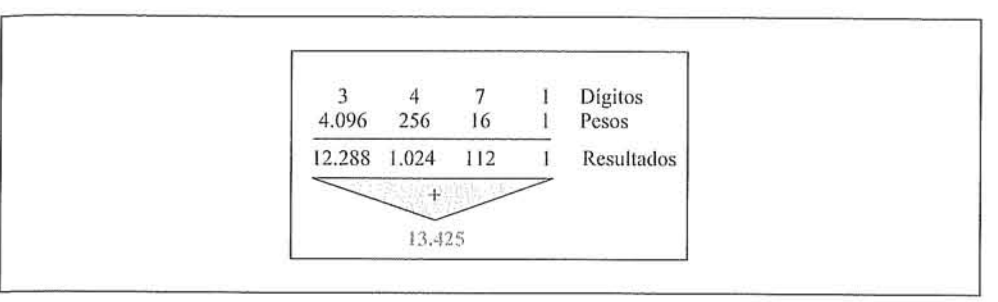


Figura B.5. *Ejemplo de número hexadecimal.*

B.2. TRANSFORMACIÓN

Los diferentes sistemas de numeración proporcionan distintas formas de pensar sobre un concepto común: cantidades de unidades sencillas. Un número representado en un sistema dado se puede transformar a su equivalente en otro sistema. Por ejemplo, un número binario se puede convertir a un número decimal, y viceversa, sin alterar su valor. La Tabla B.5 muestra cómo se representan en cada sistema los números decimales 0 a 15. Como se puede ver, el número decimal 13 es equivalente al binario 1.101, que es equivalente al octal 15, que es equivalente al hexadecimal D.

Tabla B.5. *Comparación de los cuatro sistemas*

Decimal	*Binario*	*Octal*	*Hexadecimal*
0	0	0	0
1	1	1	1
2	10	2	2
3	11	3	3
4	100	4	4
5	101	5	5

Tabla B.5. *Comparación de los cuatro sistemas* (continuación)

Decimal	*Binario*	*Octal*	*Hexadecimal*
6	110	6	6
7	111	7	7
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F

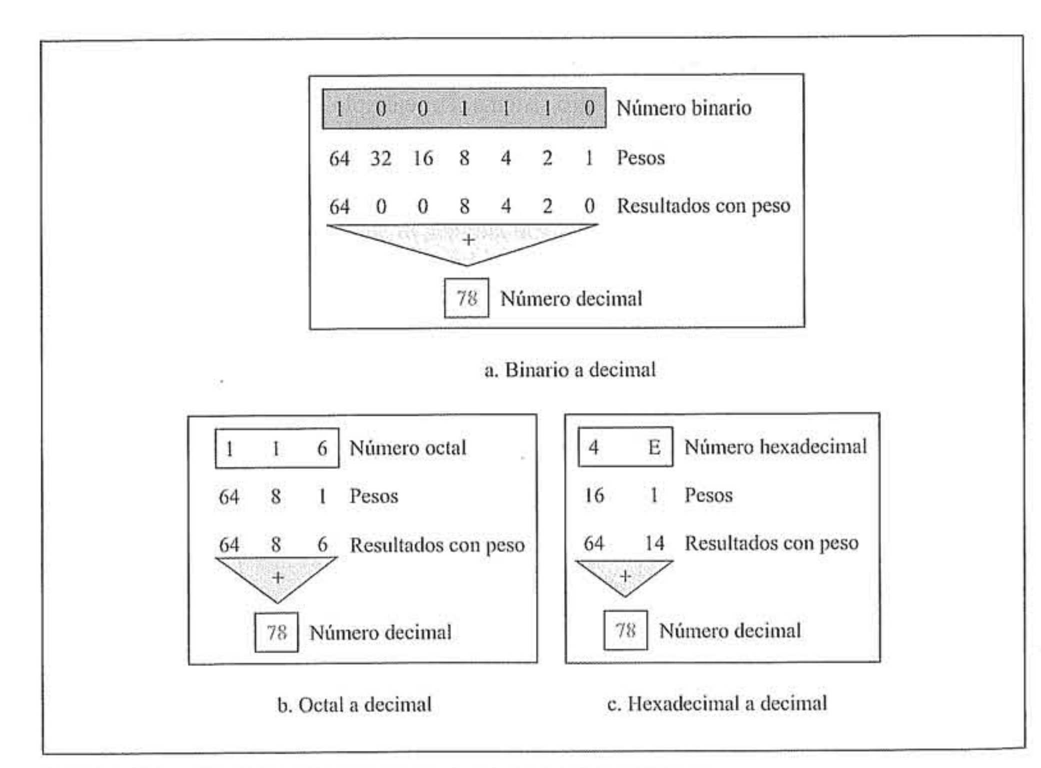


Figura B.6. *Transformación de otros sistemas al sistema decimal.*

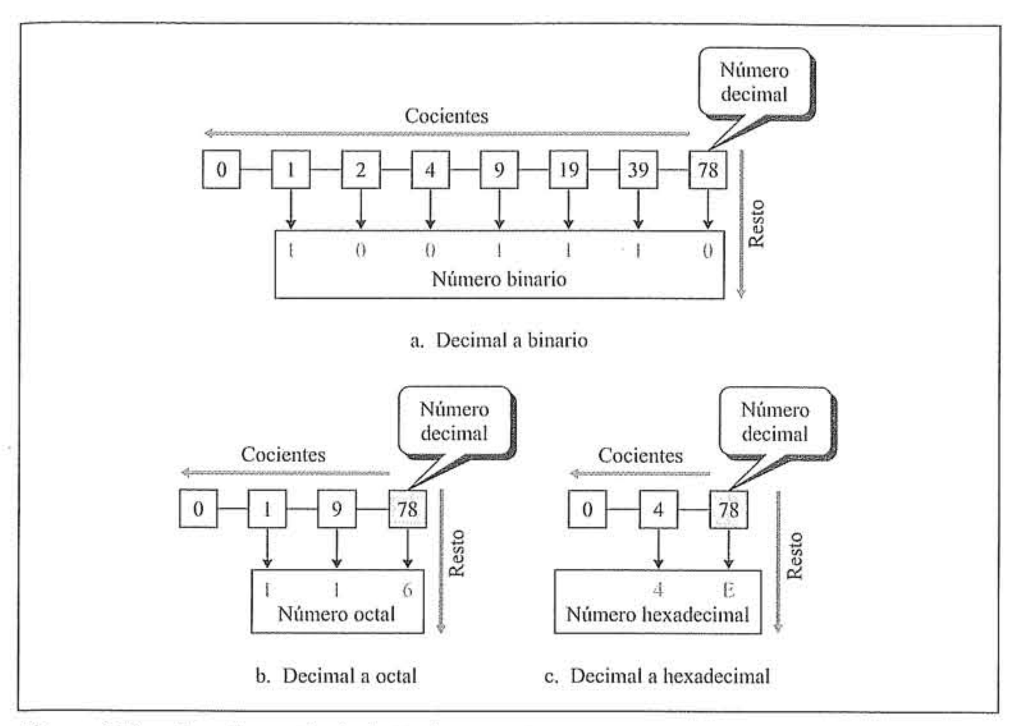


Figura B.7. *Transformación de decimal a otros sistemas.*

De otros sistemas al sistema decimal

Como se puede ver en la discusión anterior, los números binarios, octales y hexadecimales se pueden transformar fácilmente en sus equivalentes decimales utilizando los pesos de los dígitos. La Figura B.6 muestra el valor decimal 78 representado en cada uno de los otros tres sistemas.

Del sistema decimal a otros sistemas

Una simple división nos ofrece una forma adecuada de convertir un número decimal a su equivalente binario, octal o hexadecimal (véase la Figura B.7).

Para convertir un número de decimal a binario, se divide el número por 2 y se escribe debajo el resto resultante (1 o 0). El resto es el dígito binario menos significativo. Ahora, se divide el resultado de esa división por 2 y se escribe debajo el nuevo resto en la segunda posición. Se repite este proceso hasta que el cociente se hace 0.

En la Figura B.7 se convierte el número decimal 78 a su equivalente binario. Para comprobar la validez de este método, se convierte el número 1001110 a decimal utilizando los pesos de cada posición. De izquierdea a derecha:

$$2^6 + 2^3 + 2^2 + 2^1 \Rightarrow 64 + 8 + 4 + 2 \Rightarrow 78$$

Para convertir un número de decimal a octal, el procedimiento es el mismo pero se divide por 8 en lugar de por 2. Para convertir de decimal a hexadecimal se divide por 16.

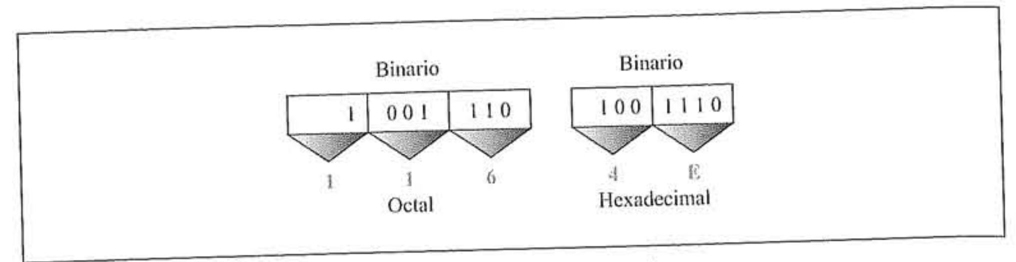


Figura B.8. *Transformación de binario a octal o hexadecimal.*

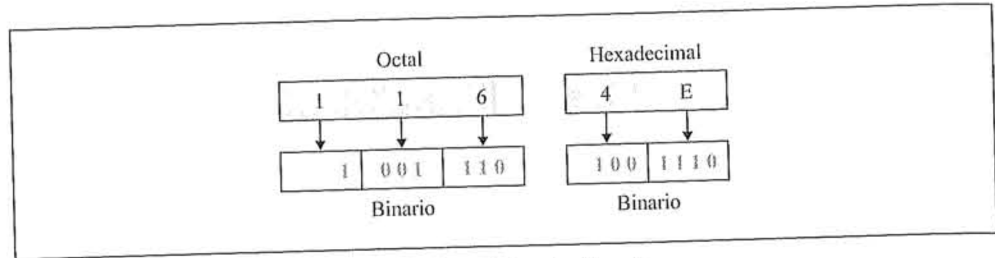


Figura B.9. *Transformación de octal a hexadecimal o binario.*

De binario a octal o hexadecimal

Para cambiar un número de binario a octal, se agrupan los dígitos binarios de derecha a izquierda de tres en tres. A continuación se convierte cada tres bits a su equivalente octal y se escribe el resultado. Estos dígitos equivalentes (no sumados) son los equivalentes octales del número original. En la Figura B.8 se convierte el número binario 1001110.

Para cambiar un número de binario a hexadecimal, se sigue el mismo procedimiento pero se agrupan los dígitos de cuatro en cuatro. Esta vez se convierte cada cuatro bits a su equivalente hexadecimal (utilice la Tabla B.5). En la Figura B.8 se convierte el número binario 1001110 a hexadecimal.

De octal a hexadecimal o binario

Para convertir de octal a binario, se invierte el procedimiento anterior. Comenzando con el dígito menos significativo, se transforma cada dígito octal en sus tres dígitos binarios equivalentes. En la Figura B.9 se convierte el número octal 116 a binario.

Para convertir un número de hexadecimal a binario, se transforma cada dígito hexadecimal a sus cuatros dígitos hexadecimales equivalentes, comenzando con el dígito menos significativo. En la Figura B.9 se convierte el número hexadecimal 4E a binario.

APÉNDICE C

Representación de números binarios

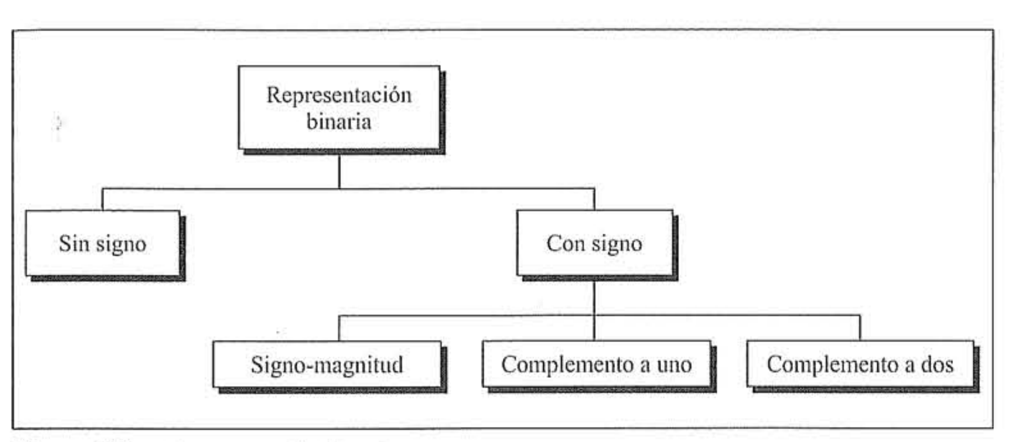


Figura C.1. *Representación binaria.*

Los números binarios se pueden utilizar y almacenar de dos formas: con o sin signo. Los **números sin signo** sólo se refieren a número positivos. Los **números con signo** pueden ser positivos o negativos. Los números sin signo se representan sólo en un formato. Sin embargo, las computadoras suelen utilizar principalmente tres formatos diferentes para representar números con signo: signo-magnitud, complemento a uno y complemento a dos (véase la Figura C.1).

C.1. NÚMEROS SIN SIGNO

El tamaño del registro temporal limita la cantidad de espacio que se tiene para almacenar y representar la información de un número. Toda la información esencial de un valor dado debe estar contenida dentro de este espacio, sin embargo, se asume que es positiva. Si no hay necesidad de indicar el signo, todos los bits disponibles representan dígitos. En un registro de 16 bits, se pueden representar cualquier número entre 0 (0000000000000000) y 65.536 (1111111111111111) (véase la Figura C.2).

Figura C.2. *Números sin signo.*

Otra forma de visualizar las limitaciones de un rango de 16 bits es con un círculo (véase la Figura C.2). Como se puede ver, con 16 bits disponibles, se puede contar desde 0 a 65.535. Cuando se suma 1 al máximo valor de 65.535, se vuelve de nuevo a 0. El proceso se dice que es de aritmética modular. El ejemplo más común de aritmética modular en la vida diaria es el reloj de 12 horas: cuando se suma 1 a 12 se obtiene 1, no 13.

De decimal a binario sin signo

Para transformar un valor decimal a su forma binaria sin signo, se siguen las siguientes etapas:

a. Transformar el número a su forma binaria.
b. Rellenar todas las celdas vacías de la izquierda con 0. (Si se utiliza un registro de 16 bits, se necesitan rellenar las 16 celdas, con un registro de 8 bits, se necesitan rellenar las 8 celdas, etc.).

Ejemplo C.1

Transformar el valor 76 a su representación sin signo.

Solución

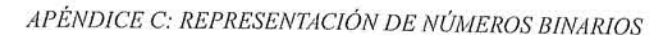
a. 76 en binario es 1001100
b. Añadir 0 para hacer el número de 16 bits: 0000000001001100

C.2. NÚMEROS CON SIGNO

La representación de números binarios con signo presenta más dificultades que la representación de números sin signo. Dadas las mismas limitaciones de bits, ¿cómo se puede incluir el signo (+ o –) en el número? Se utilizan normalmente tres métodos: signo-magnitud, complemento a uno y complemento a dos.

Signo-magnitud

En la representación en signo-magnitud, el bit más significativo se reserva para indicar el signo. Si el bit es 0, el número es positivo. Si es 1, el número es negativo. Observe que la aplicación de este método da dos valores para el 0: +0 (0000000000000000) y –0



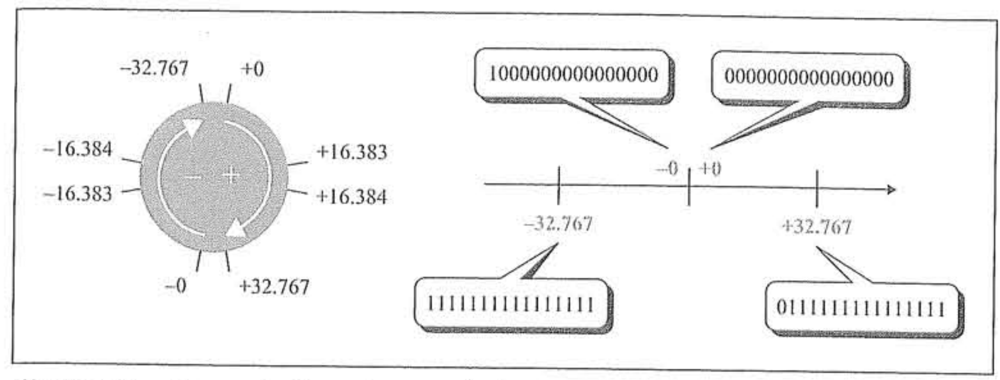


Figura C.3. *Representación en signo-magnitud.*

(1000000000000000). Reservar un bit para indicar el signo limita el rango de valores que se pueden representar en un número concreto de bits. Dado un registro de 16 bits, se consume una celda para el signo, dejando solo 15 bits para representar el valor absoluto del número. Esto transforma el posible rango de números representables, como se muestra en la Figura C.3. Como se puede ver, con solo 15 dígitos, el rango de números representables se convierte en –32.767 a +32.767.

De nuevo, el círculo ofrece una forma útil de visualizar el rango de números. Comenzando con +0 (0000000000000000), se suma 1, incrementando el valor hasta alcanzar +32.767 (0111111111111111). Cuando se suma otro 1, el valor transforma a –0 (1000000000000000). Si se continúa sumando 1, se avanza en el círculo hasta –32.767 (111111111111111). La siguiente vez que se suma 1 se transforman los bits disponibles a 0000000000000000 (+0), y el ciclo comienza de nuevo (véase la Figura C.3).

De decimal a signo-magnitud

Para transformar un valor decimal a su formato en signo magnitud, se siguen las siguientes etapas:

a. Se ignora el signo.
b. Se transforma el valor absoluto del número a su formato binario.
c. Se rellenan todas las celdas vacías, excepto la última de la izquierda, con 0 (si se está utilizando un registro de 16 bits, se necesitan rellenar 15 celdas; con un registro de 8 bits, se necesitan rellenar 7 celdas).
d. Ahora se comprueba el signo: si el número es positivo, se pone en la última celda un 0; si es negativo, se pone un 1.

Ejemplo C.2

Cambie –77 a su representación en signo-magnitud.

Solución:

a. El valor absoluto es 77.
b. 77 en binario es 1001101.
c. Se añaden 0 para hacer que el número tenga 15 bits: 000000001001101.
d. El signo es negativo, se añade un 1 en el último bit 1000000001001101.

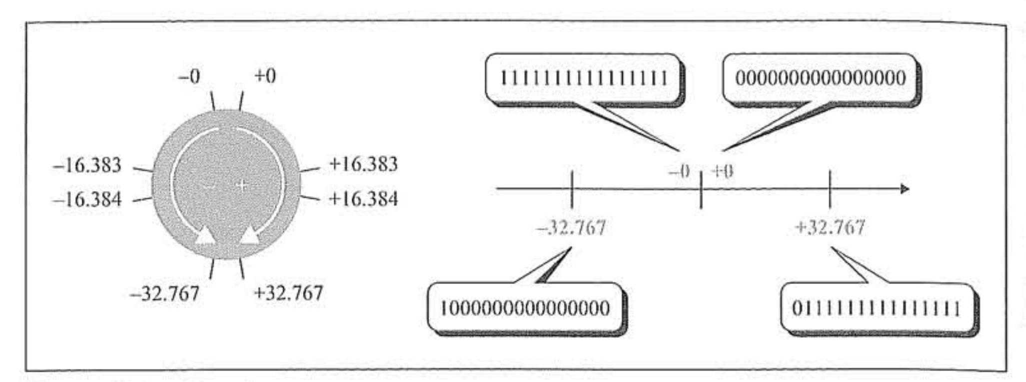


Figura C.4. *Complemento a uno.*

Complemento a uno

En el complemento a uno, todos los bits, no sólo el más significativo, toman parte en la representación del signo. El complemento a uno es un sistema simétrico: los números se emparejan con sus complementos. Sumar un número a su complemento da como resultado 0. Para encontrar el complemento de un número, se invierten todos los dígitos. Por ejemplo, si se invierten todos los dígitos del número 0000000000000001 (+1) da 1111111111111110 (–1). Esta simetría se extiende al cero: 00000000000000 = +0 y 1111111111111111 = –0 (véase la Figura C.4).

Como se puede ver en la Figura C.4, los números positivos en este método utilizan los mismos dígitos que en signo-magnitud (y los mismos dígitos para los números sin signo 0 a 32.767). En este método, también, el signo de un número se aprecia de forma inmediata a partir de su dígito más significativo. (Los números positivos siempre comienzan con 0 y los números negativos siempre comienzan con 1). Sin embargo, la representación numérica de los números negativos es muy diferente en el complemento a uno y en signo-magnitud.

El complemento a uno se utiliza en las comunicaciones de datos para comprobar la precisión de las transmisiones recibidas.

De decimal a complemento a uno

Para transformar un valor decimal a su formato binario en complemento a uno, se siguen estas etapas:

a. Ignore el signo.
b. Cambie el valor absoluto del número a su forma binaria.
c. Rellene todas las celdas vacías de la izquierda con 0. (Si se está utilizando un registro de 16 bits, se necesitan rellenar 16 celdas; con un registro de 8 bits, se necesitan rellenar 8 celdas, etc.).
d. Ahora se comprueba el signo: si el número es positivo, se para aquí. Si el número es negativo, se complementan los dígitos (se invierte cada 0 por 1 y cada 1 por 0).

Ejemplo C.3

Transformar el número –77 a su formato en complemento a uno.

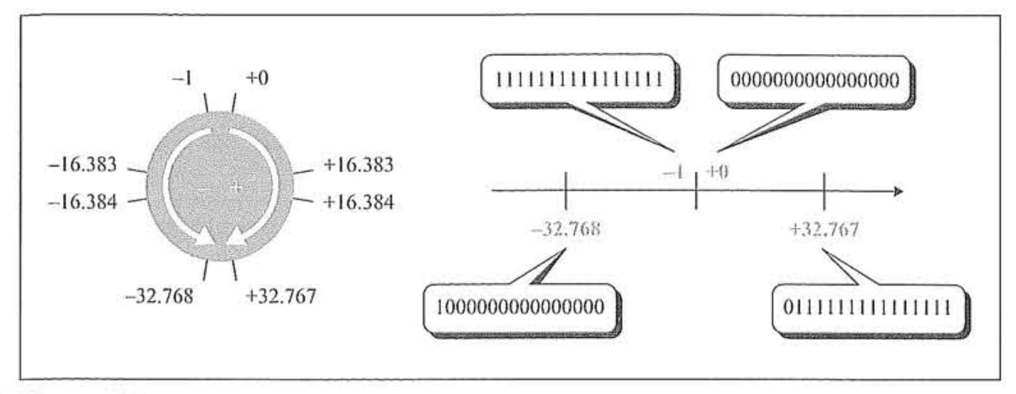


Figura C.5. *Complemento a dos.*

Solución

a. El valor absoluto es 77.
b. 77 en binario es 1001101.
c. Se añaden 0 para hacer que el número tenga 16 bits: 0000000001001101.
d. El signo era negativo, así que se complementa el número obtenido en la etapa c invirtiendo sus dígitos. De esta forma se obtiene: 1111111110110010.

Complemento a dos

En el **complemento a dos**, como en el complemento a uno, todos los bits transformann cuando el signo del número transforma. El número entero, no sólo el bit más significativo, forma parte del proceso de negación. Esta vez, sin embargo, se añade un paso, dando lugar a un sistema simétrico con sólo una representación del 0.

Como se muestra en la Figura C.5, tener sólo una única representación del 0 da lugar a que se tenga un número negativo extra: –32.768. De esta forma, una variable entera de 16 bits puede almacenar números desde –32.768 hasta 32.767.

Si se examina la Figura C.5 se puede ver otro hecho interesante: en el complemento a dos, 0 y –1 son los inversos binarios el uno del otro. No son complementarios entre sí, si se suman los dos no se obtiene 0. De hecho, 0000000000000000 (0) + 1111111111111111 (–1) = 1111111111111111 (–1). De esta misma forma, +32.767 y –32.768 son inversos el uno del otro. Estos patrones permiten al complemento a dos replicar la aritmética binaria a nivel de máquina, como se verá más adelante.

De decimal a complemento a dos

Para transformar un número decimal a su complemento a dos, deben seguirse los siguientes pasos:

a. Ignore el signo.
b. Cambie el valor absoluto del número a su formato binario.
c. Rellene todas las celdas vacías a la izquierda con 0. (Si se está utilizando un registro de 16 bits, se necesitan rellenar 16 celdas; con un registro de 8 bits, se necesitan 8 celdas; etc.).

d. Ahora se comprueba el signo: si el número es positivo, se para aquí. Si el número es negativo, se complementan los dígitos (se invierte cada 0 por 1 y cada 1 por 0) y se suma 1 al resultado. Si al sumar 1 al resultado se produce un acarreo del dígito más significativo, se desprecia este acarreo.

Ejemplo C.4

Transformar –77 a su complemento a dos.

Solución

a. El valor absoluto es 77.
b. 77 en binario es 1001101.
c. Añadir 0 para que el número tenga 16 bits: 0000000001001101.
d. El signo es negativo, así que se complementa el número: 1111111110110010. Ahora se suma 1 al resultado dando 1111111110110011.

C.3. MÁS SOBRE EL COMPLEMENTO A UNO

Debido a que la aritmética en complemento a 1 se utiliza para el cálculo de las sumas de comprobación, se va a tratar a continuación algunas características de la aritmética en complemento a uno más en detalle.

Encontrar el complemento

El complemento a uno de cualquier número es otro número, tal que la suma de los dos es igual a 0. Por ejemplo, el complemento a uno de A es –A. Para complementar un número binario, se invierte cada 1 por 0 y cada 0 por 1 (véase la Figura C.6).

Como se mencionó anteriormente, se tienen dos representaciones del 0 en esta aritmética: +0 y –0. El cero positivo en un buffer de 16 bits es 0000000000000000, el cero negativo en un registro de 16 bits es 1111111111111111.

> Se tienen dos 0 en la aritmética en complemento a uno:
> +0 ⇨ 0000000000000000 –1 ⇨ 1111111111111111

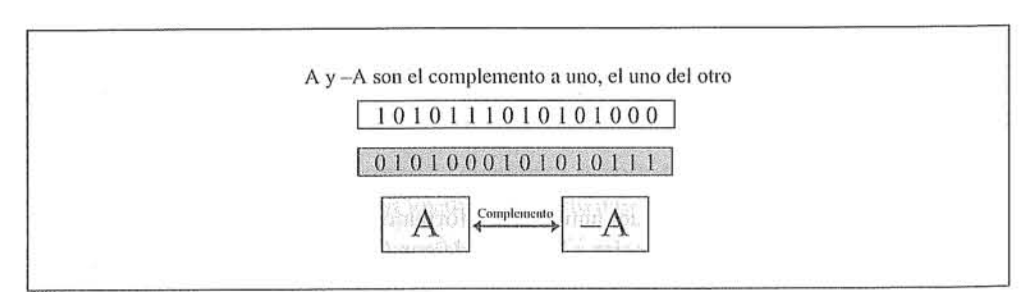


Figura C.6. *Complemento a uno.*

Suma de dos números

Para sumar dos dígitos en complemento a uno, se siguen los mismos pasos que se realizan en la suma en base 10. Se suman los dos valores en una columna. La siguiente caja expresa este proceso como una serie de cuatro reglas sencillas.

> Cuatro reglas sencillas para sumar una columna:
>
> 1. Si no hay 1, el resultado es 0.
> 2. Si hay un solo 1, el resultado es 1.
> 3. Si hay dos 1, el resultado es 0 y se lleva un acarreo 1 a la siguiente columna.
> 4. Si hay tres 1, el resultado es 1 y se lleva un acarreo 1 a la siguiente columna.

Para sumar dos números compuestos por varios bits, se extiende este proceso.

> Dos reglas sencillas para sumar dos números compuestos por dos o más columnas:
>
> 1. Sumar los bits de cada columna.
> 2. Si la última columna genera un acarreo, sumar 1 al resultado.

La Figura C.7 muestra un ejemplo de suma de dos números en complemento a uno, donde no se produce acarreo en la última columna.

La Figura C.8 muestra un ejemplo de suma de dos números en complemento a uno donde la última columna genera un acarreo. El acarreo se suma a continuación al resultado.

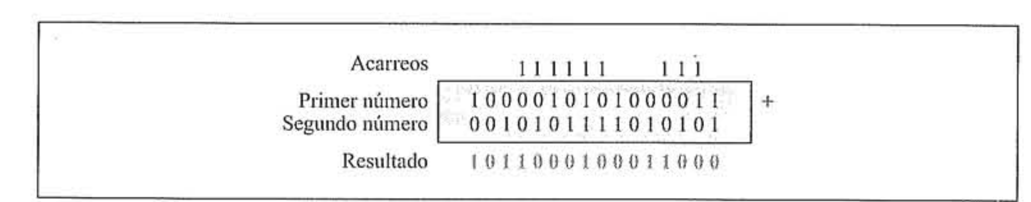


Figura C.7. *Suma en complemento a uno.*

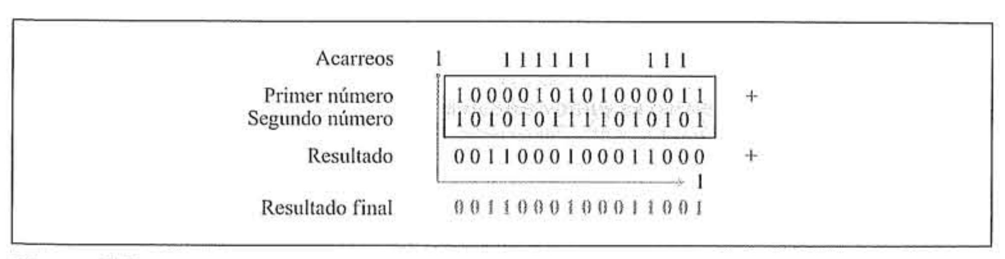


Figura C.8. *Suma en complemento a uno con acarreo en la última columna.*

```
+A   1010111010101000   +
-A   0101000101010111
-0   1111111111111111
```

Figura C.9. *Suma de un número y su complemento.*

Siguiendo la lógica anterior, si se suma un número a su complemento A, el resultado será todos 1, que, como se ha visto, es igual a –0 (véase la Figura C.9).

> Si se suma un número a su complemento, se obtiene –0, que significa todos 1.

APÉNDICE D

Análisis de Fourier

Una onda seno se puede definir matemáticamente de la siguiente forma:

$$x(t) = A \text{ sen } (2\pi f t + \theta)$$

donde

$x(t)$ es el valor de la amplitud de la señal en el instante t

A es la amplitud máxima de la señal

f es el número de ciclos por segundo

θ es la fase de la señal

Si la fase es 90 grados ($\pi/2$ radianes), la misma señal se puede expresar como una onda coseno en lugar de una onda seno:

$$x(t) = A \cos (2\pi f t)$$

Ejemplo D.1

La electricidad que llega a una casa es un buen ejemplo de onda seno sencilla. La amplitud máxima es aproximadamente de 240 voltios y la frecuencia es de 50 Hz.[1]

(1) Escribir la expresión matemática.

Solución

$$2\pi f = 2 \times 3{,}14 \times 50 = 377 \text{ radianes/segundo}$$

$$x(t) = \text{A sen } (2\pi f t + \theta) = 240 \text{ sen } (377t + \theta)$$

La fase es normalmente 0.

Ejemplo D.2

La electricidad producida por una batería de seis voltios es corriente continua (DC) con frecuencia cero. Puede describirse por la siguiente expresión, donde θ es $-\pi/2$ debido a que el voltaje comienza en +6 voltios en lugar de en 0.

Solución

$$x(t) = A \text{ sen } (2\pi f t - \pi/2) = A \cos(2\pi f t) = A \cos(0) = A = 6$$

Ejemplo D.3

Su voz es la suma de ondas seno, cada onda tiene su propia frecuencia, fase y amplitud. El ancho de banda se encuentra normalmente entre 300 Hz y 3.300 Hz. Escribe una expresión general.

Solución

$$x(t) = A_1 \text{ sen } (2\pi f_1 t + \theta_1) + A_2 \text{ sen } (2\pi f_2 t + \theta_2) + \ldots + A_n \text{ sen } (2\pi f_n t + \theta_n)$$

donde f_1 es la frecuencia fundamental y $f_2, f_3, \ldots f_n$ son armónicos.

D.1. SERIES DE FOURIER

Las **series de Fourier** permiten descomponer una señal periódica compuesta en una serie, posiblemente infinita, de ondas seno, cada una con una frecuencia y fase distintas. Una señal periódica $x(t)$ se puede descomponer como sigue:

$$x(t) = c_0 + c_1 \text{ sen } (2\pi f_1 t + \phi_1) + c_2 \text{ sen } (2\pi f_2 t + \phi_2) + \ldots + c_n \text{ sen } (2\pi f_n t + \phi_n)$$

Los coeficientes, $c_0, c_1, \ldots c_n$, son las amplitudes de las señales individuales (seno). El coeficiente c_0 es la amplitud de la señal con frecuencia 0. El coeficiente c_1 es la amplitud de la señal con la misma frecuencia que la señal original. El coeficiente c_2 es la amplitud de la señal con una frecuencia dos veces la de la señal original, y así sucesivamente. ϕ_0 es la fase de la señal con frecuencia 0 (la componente DC). ϕ_1 es la fase de la señal con la misma frecuencia que la señal original. ϕ_2 es la fase de la señal con una frecuencia dos veces la de la señal original, etc.

La amplitud y la fase se calculan utilizando las fórmulas de las series de Fourier. No se va a hacer una demostración de las series de Fourier; sólo se mencionará cómo calcular la amplitud y la fase. Los lectores interesados pueden comprobar la demostración en cualquier libro de matemáticas avanzado.

Para simplificar los cálculos, se utiliza el hecho geométrico de que:

$$c_n \text{ sen } (2\pi f_n t + \phi_n) = a_n \text{ sen } (2\pi f_n t) + b_n \cos (2\pi f_n t)$$

lo que significa que cualquier señal se puede descomponer en componentes seno y coseno. Ahora, el cálculo de a_n y b_n se hace más sencillo:

$$a_0 = 1/T \int x(t)\, dt$$
$$a_n = 2/T \int x(t) \cos(2\pi f t)\, dt$$
$$b_n = 2/T \int x(t) \text{ sen}(2\pi f t)\, dt$$

donde T es el periodo de la señal y $f = 1/T$.

Ejemplo D.4

Calcule los coeficientes de la serie de Fourier para la señal de la Figura D.1.

Solución

Utilizando las fórmulas anteriores, se obtiene:

$a_0 = 0$
$a_1 = 4A/\pi \quad a_2 = 0 \quad a_3 = -4A/3\pi \quad a_4 = 0 \quad \ldots$
$b_n = 0$

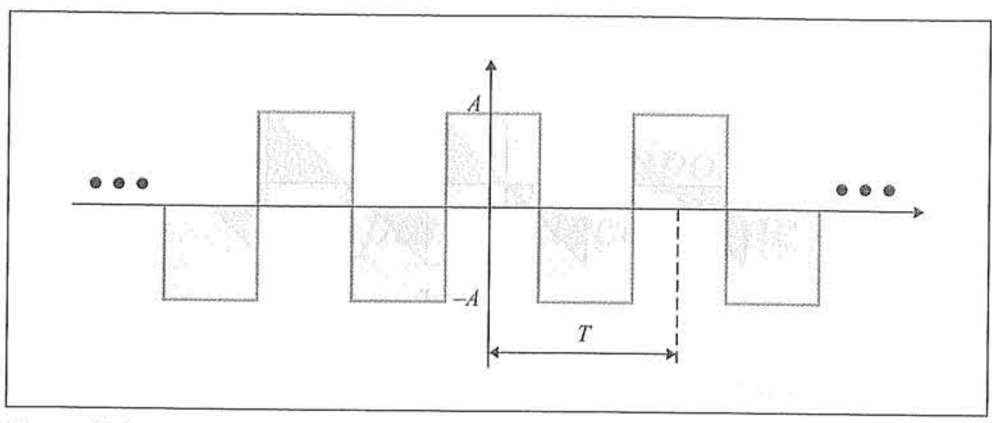


Figura D.1. *Ejemplo D.4.*

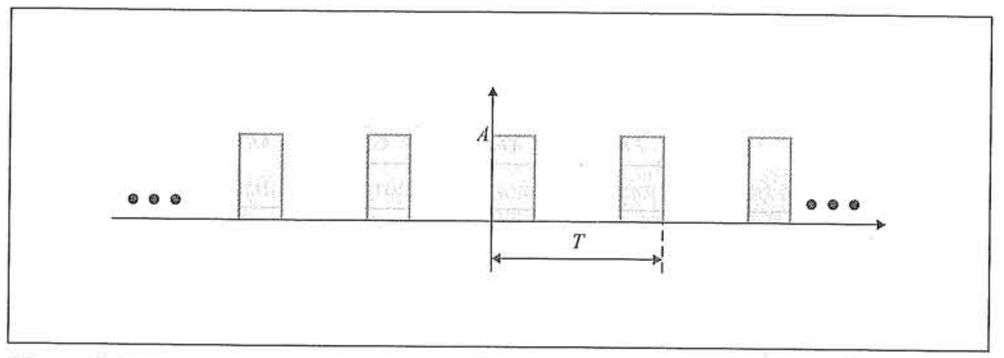


Figura D.2. *Ejemplo D.5.*

Ejemplo D.5

Calcule los coeficientes de la serie de Fourier para la señal de la Figura D.2.

Solución

Utilizando las fórmulas anteriores, se obtiene:

$a_0 = 0{,}33A$
$a_1 = 0{,}28A \quad a_2 = -0{,}14A \quad a_3 = 0 \quad a_4 = 0{,}07A \quad \ldots$
$b_1 = 3A/2\pi \quad b_2 = 3A/4\pi \quad b_3 = 0 \quad b_4 = 3A/8\pi \quad \ldots$

Ejemplo D.6

Calcule los coeficientes de la serie de Fourier para la señal de la Figura D.3.

Solución

Utilizando las fórmulas mostradas anteriormente, se obtiene:

$a_0 = 0 \quad a_n = 0$
$b_1 = 2A/\pi \quad b_2 = -A/\pi \quad b_3 = 2A/3\pi \quad b_4 = -A/2\pi$

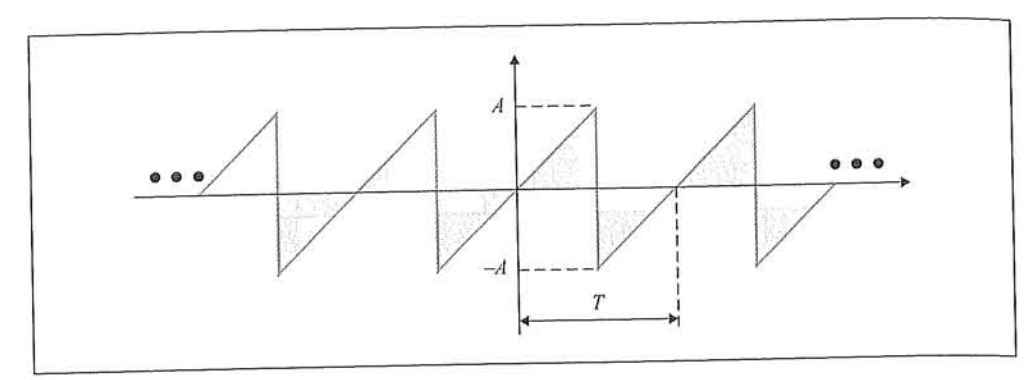


Figura D.3. *Ejemplo D.6.*

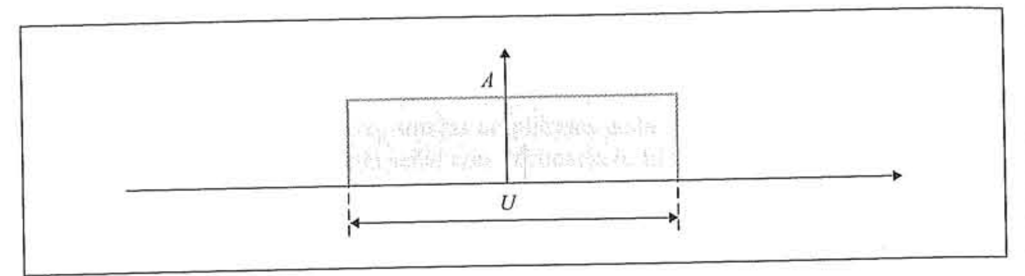


Figura D.4. *Ejemplo D.7.*

D.2. TRANSFORMADA DE FOURIER

La transformada de Fourier permite descomponer una señal aperiódica compuesta en una serie infinita de señales seno individuales, cada una de las cuales tiene una frecuencia y fase distintas. En este caso, sin embargo, las frecuencias no son discretas sino continuas. La transformación cambia el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia y viceversa. Debido a que el espectro es continuo, el resultado es una envolvente de componentes frecuencia-dominio, en lugar de una gráfica de componentes.

Para calcular la envolvente, se utilizan las siguientes integrales:

$$X(f) = \int X(t)\, e^{-j2\pi ft}\, dt$$
$$X(f) = \int X(t)\, e^{j2\pi ft}\, dt$$

Ejemplo D.7

Calcule la transformada de Fourier de la señal de la Figura D.4.

Solución

Utilizando la integral mostrada anteriormente, se obtiene:

$$V(f) = 2A/2\pi f_0 \quad \text{sen}(2\pi f U/2)$$

APÉNDICE E

Equipos hardware para detección de errores

En este apéndice se van a describir equipos utilizados para la detección de errores. En primer lugar, se introducen tres dispositivos electrónicos. Después se muestran cómo estos dispositivos se pueden utilizar para construir generadores y comprobadores VRC, LRC y CRC.

E.1. DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS

Se utilizan tres dispositivos electrónicos para la generación y análisis de comprobaciones redundantes: las puertas XOR, las puertas NOT y los registros de desplazamiento.

Puertas XOR

Una puerta OR exclusiva (XOR) es un dispositivo electrónico con dos entradas y una salida. Las puertas XOR comparan los dos bits de datos. Si los bits de entrada son iguales (los dos son 1 o los dos son 0), la salida de la puerta XOR es 0. Si los bits son distintos (uno es 0 y el otro es 1), la salida de la puerta XOR es 1. La Figura E.1 muestra el resultado de introducir cada una de las cuatro posibles combinaciones de dos bits en una puerta XOR.

Puerta NOT

La puerta NOT es un dispositivo electrónico con una entrada y una salida. El nombre NOT no es un acrónimo; significa lo que dice negación. Cualquier bit en la entrada aparece en la

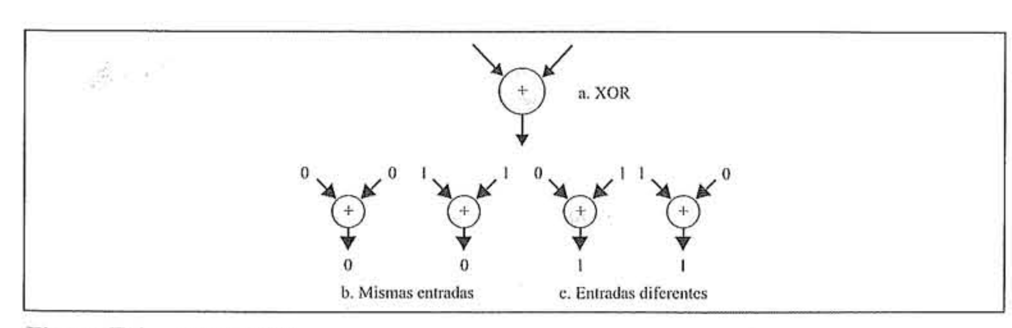


Figura E.1. *Puerta XOR.*

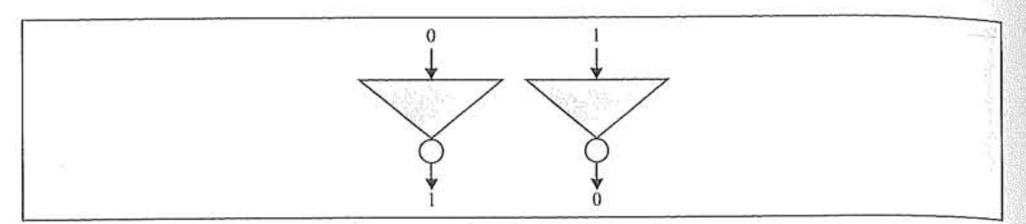


Figura E.2. *Puerta NOT.*

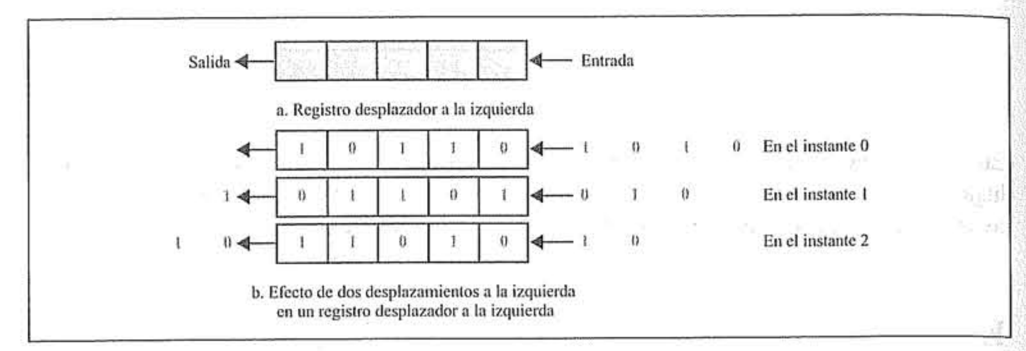


Figura E.3. *Registros de desplazamiento.*

salida negado. Las puertas NOT invierten la entrada cambiando 0 por 1 y 1 por 0. Se utilizan en los generadores de paridad impar, donde el resultado se genera y luego se invierte. La Figura E.2 muestra la salida de una puerta NOT.

Registros de desplazamiento

Un registro es un grupo de celdas de almacenamiento binario, cada una de las cuales almacena un bit. Un registro que desplaza su contenido un lugar a la derecha o a la izquierda se denomina registro de desplazamiento (véase la Figura E.3).

Si un registro de desplazamiento se conecta a un generador de pulsos, con cada pulso el contenido del registro se desplaza en una celda a la izquierda (o a la derecha si es un registro de desplazamiento a la derecha). Cada unidad (un 0 o 1 binario) avanza una posición. El contenido de la última celda sale del registro y una nueva unidad se transfiere desde el flujo de espera (si le hay) a la primera celda del registro. La Figura E.3 muestra un registro de desplazamiento a la izquierda. Un registro de desplazamiento a la derecha funciona de la misma forma pero en la dirección contraria.

E.2. VERIFICACIÓN DE REDUNDANCIA VERTICAL (VRC)

Como se vio en el Capítulo 9, la verificación de redundancia vertical (VRC) se utiliza para comprobar la paridad par o impar. En esta sección, se mostrará cómo se pueden utilizar dispositivos electrónicos para construir un generador o un comprobador VRC.

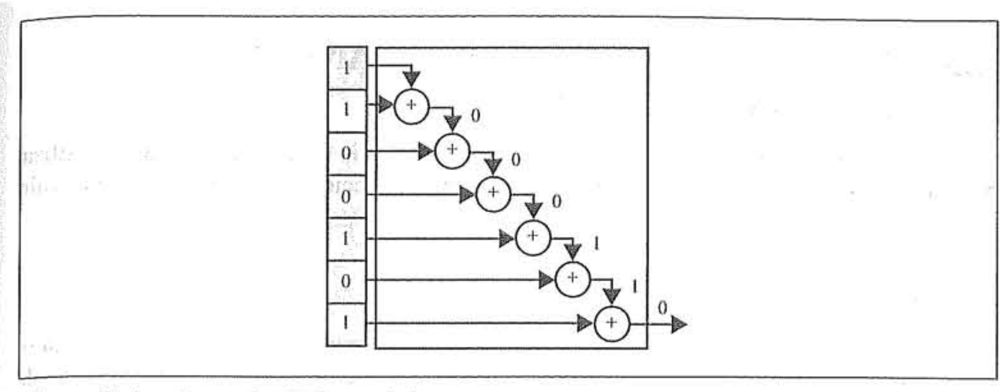


Figura E.4. *Generador VRC, paridad par.*

Generador VRC

Un generador VRC es una serie de puertas XOR. El número de puertas del generador es uno menos que el número de bits de la unidad de datos. El resultado final es el bit de paridad par. La Figura E.4 muestra el funcionamiento de este proceso. Para generar un bit de paridad impar, la salida de la última puerta XOR se pasa a través de una puerta NOT.

Comprobador VRC

El comprobador VRC en el extremo receptor tiene una puerta XOR extra para acomodar el bit de paridad. El proceso es el mismo: la salida de cada puerta XOR se pasa a la siguiente puerta XOR, donde se añade el siguiente bit de la unidad de datos. Al igual que en la generación de la paridad, un comprobador de paridad impar es idéntico a un comprobador de paridad par, excepto en la incorporación de una puerta NOT al final de la última puerta XOR.

Si la salida final es 0, quiere decir que la transmisión ha sido correcta, se descarta el bit de paridad y se aceptan los datos. Si la salida es 1, los datos se rechazan. La Figura E.5 muestra un comprobador VRC de paridad par.

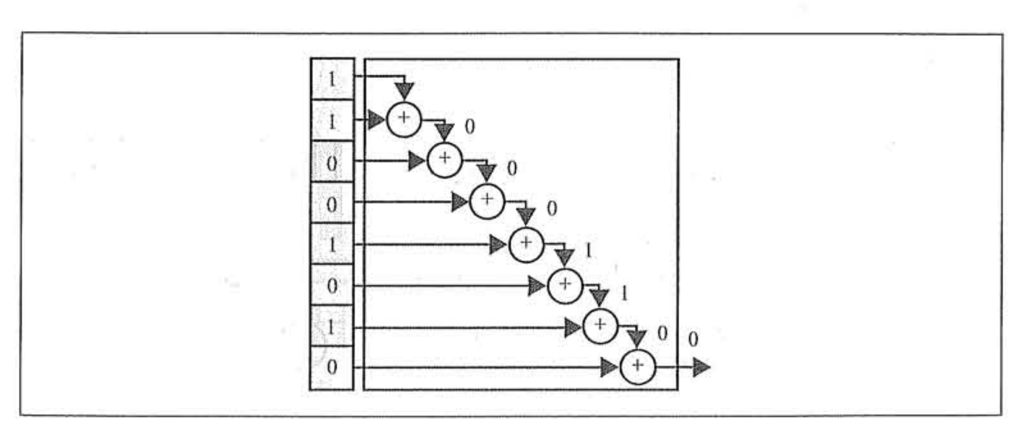


Figura E.5. *Comprobador VRC, paridad par.*

E.3. VERIFICACIÓN DE REDUNDANCIA LONGITUDINAL (LRC)

Como se vio en el Capítulo 9, la verificación de redundancia longitudinal (LRC) se utiliza para una comprobación de errores más eficiente. En esta sección se va a ver cómo construir un generador y un comprobador LRC.

Generador LRC

La Figura E.6 muestra cómo se calcula el LRC. Los bits menos significativos se suman juntos y se obtiene su paridad; a continuación se suman los segundos bits y se calcula su paridad. Este proceso continúa con el resto de bits. El bit final del LRC es tanto el bit de paridad de la unidad de datos LRC como el bit de paridad de todos los bits de paridad VRC en el bloque.

Comprobador LRC

Un comprobador LRC funciona de forma similar a un generador LRC, pero se añaden puertas XOR extra. La Figura E.7 muestra un comprobador LRC.

E.4. VERIFICACIÓN DE REDUNDANCIA CÍCLICA (CRC)

Como se vio en el Capítulo 9, la verificación de redundancia cíclica (CRC) es más eficiente que VRC y LRC. En esta sección se va a mostrar cómo construir un generador y comprobador de CRC.

El generador de CRC

El diseño de un generador CRC a partir de un polinomio dado se realiza de forma sencilla siguiendo estos pasos:

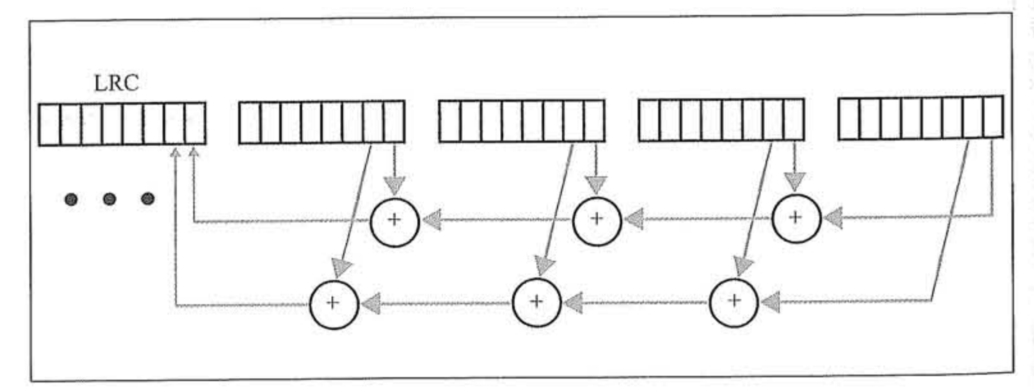
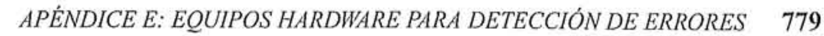


Figura E.6. *Generador LRC.*



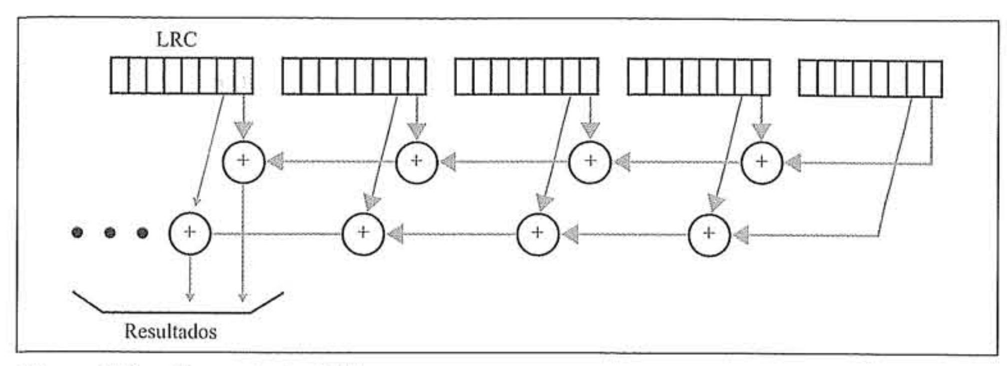


Figura E.7. *Comprobador LRC.*

- Transformar el polinomio en un divisor de tamaño N+1. (N es el orden del polinomio).
- Utilizar un registro de desplazamiento de tamaño N.
- Alinear las celdas del registro de desplazamiento con el divisor de forma que las celdas se localicen entre los bits.
- Colocar una puerta XOR donde hay un 1 en el divisor excepto en el bit situado más a la izquierda.
- Establecer una conexión desde el bit más a la izquierda a las puertas XOR.
- Añadir un conmutador para dirigir los datos y la salida CRC generada.

La Figura E.8 muestra un generador CRC derivado del polinomio de la ITU-T.

Un conjunto de bits se transfieren a través del generador CRC al conmutador; los otros se envían directamente al conmutador. El conmutador utiliza un contador para enviar primero los datos y luego el resto (CRC). La Figura E.9 muestra la generación del resto CRC. En cada línea, las puertas XOR suman dos bits. Después de esta operación, todos los bits se desplazan una posición a la izquierda. La última línea muestra el resto CRC en el registro de desplazamiento.

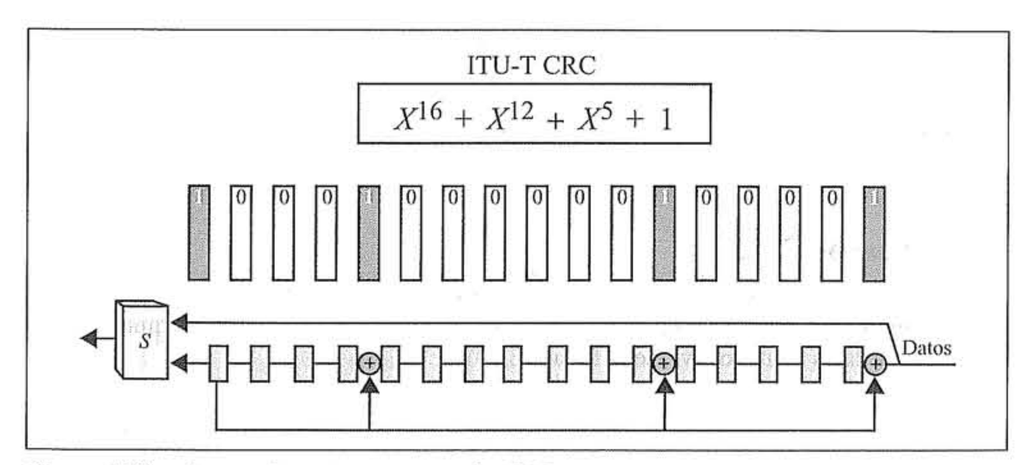


Figura E.8. *De un polinomio a un generador CRC.*

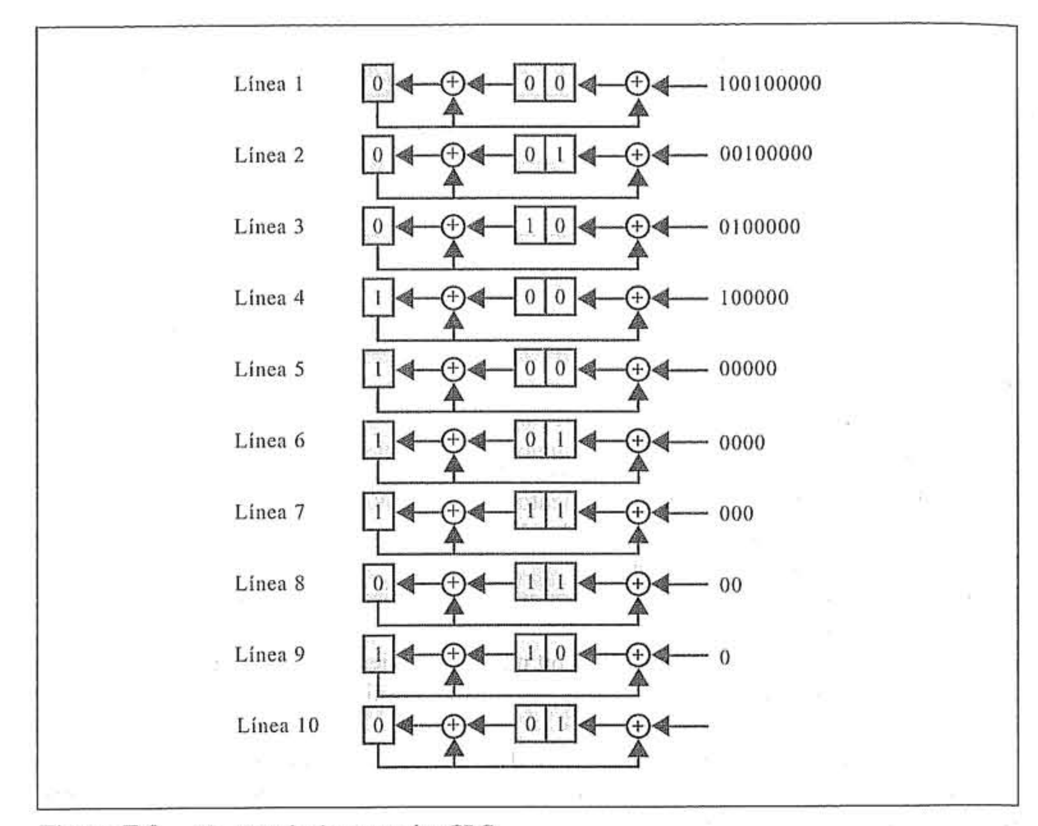


Figura E.9. *Un ejemplo de generador CRC.*

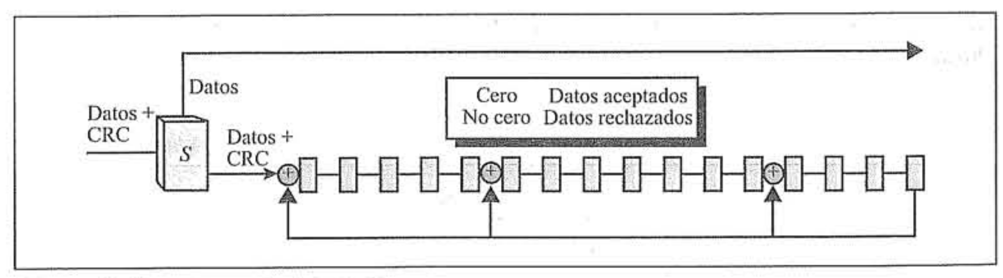


Figura E.10. *Comprobador CRC.*

Comprobador CRC

El *hardware* en el extremo receptor de la transmisión funciona de la misma forma, excepto que se comprueba el paquete completo, incluyendo los datos y el CRC para determinar la precisión de los datos recibidos (véase la Figura E.10).

APÉNDICE F

Códigos de Huffman

El código ASCII es un código de longitud fija. Cada carácter ASCII consta de siete bits. La longitud del carácter no varía. Aunque el carácter E aparece con más frecuencia que el carácter Z, ambos tienen asignados en el código el mismo número de bits. Este hecho significa que cada carácter utiliza el número máximo de bits, lo que da lugar a mensajes codificados largos.

La codificación Huffman, sin embargo, realiza una codificación más eficiente. En este sistema, se asignan códigos más cortos a los caracteres que aparecen con más frecuencia y códigos más largos a los que aparecen con menos frecuencia. Por ejemplo, E y T, los dos caracteres que aparecen con más frecuencia en lengua inglesa se codifican con un bit. A, I, M y N, que también aparecen con mucha frecuencia, pero con menos frecuencia que la E y la T, se codifican con dos bits. C, G, K, R, S, U y W, que son los siguientes más frecuentes se codifican con tres bits, etc. En un trozo de texto dado, sólo algunos de los caracteres requerirán la longitud máxima. La longitud total de la transmisión, por tanto, es más corta que la que resulta de una codificación de longitud fija.

La dificultad aparece, sin embargo, si los patrones de bits asociados con cada carácter se asignan de forma aleatoria. Considere el ejemplo de la Figura F.1. Observe que se ha limitado a propósito el número de caracteres del ejemplo a sólo unos pocos del conjunto total de caracteres alfanuméricos y especiales, puestos en orden para que la demostración sea más sencilla de seguir.

Como se puede ver, cada carácter se representa por un único patrón de bits y son fácilmente distinguibles cuando se presentan de forma aislada. Pero, ¿qué ocurre cuando estos caracteres forman un flujo de datos? La Figura F.2 muestra el posible resultado. Sin una longitud predecible para los caracteres, el receptor puede malinterpretar el código.

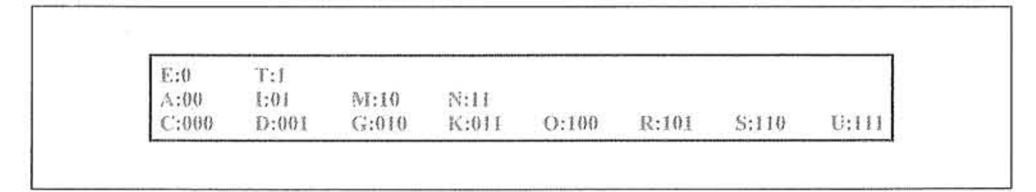


Figura F.1. *Asignación de bits de acuerdo a la frecuencia del carácter.*

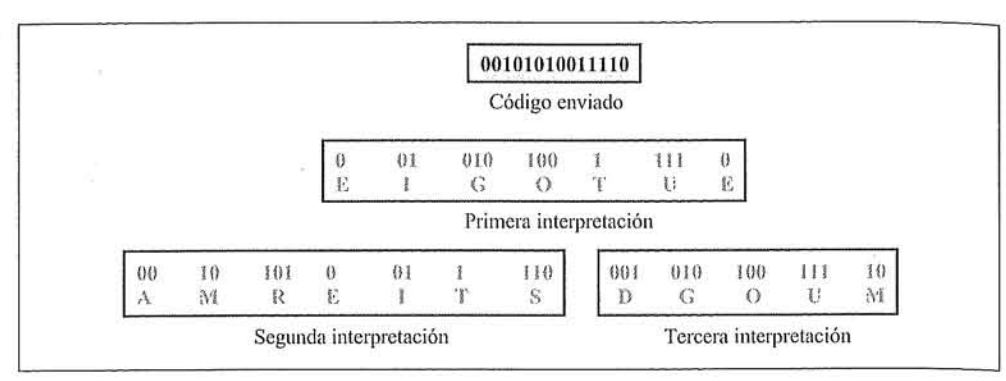


Figura F.2. *Múltiples interpretaciones de los datos transmitidos.*

La codificación Hufmann se diseña de forma que se tenga en cuenta esta ambigüedad al mismo tiempo que se logren las ventajas de un código comprimido. No sólo varía la longitud del código según la frecuencia del carácter representado, sino que el código para cada carácter se elige de forma que ningún código sea prefijo de otro. Por ejemplo, que un código de tres bits no tenga el mismo patrón que los tres primeros bits de un código de cuatro o cinco bits (se codifica adecuadamente el prefijo).

F.1. ÁRBOL DE CARACTERES

Utilizando el conjunto de caracteres del ejemplo anterior, se va a examinar la forma de construir un código Huffman.

Antes de poder asignar patrones de bits a cada carácter, a cada uno de estos se le asigna un peso de acuerdo a su frecuencia de uso. En nuestro ejemplo, se supone que la frecuencia del carácter E es del 15 por ciento, la frecuencia del carácter T es del 12 por ciento, etc. (véase la Figura F.3).

Una vez establecido el peso de cada carácter, se construye un árbol de acuerdo a esos valores. El proceso de construcción de este árbol se muestra en la Figura F.4. Este proceso consta de los tres siguientes pasos básicos:

1. En primer lugar se organizan el conjunto de caracteres en una fila, ordenados de acuerdo a su frecuencia, desde la más alta a la más baja (o viceversa). Cada carácter es ahora el nodo hoja de un árbol.
2. A continuación, se buscan dos nodos con la combinación más pequeña de pesos y se juntan para formar un tercer nodo, dando lugar a un árbol de dos niveles.

E = 15	T = 12	A = 10	I = 08	M = 07	N = 06	C = 05
D = 05	G = 04	K = 04	O = 03	R = 03	S = 02	U = 02

Figura F.3. *Pesos asignados a los caracteres.*

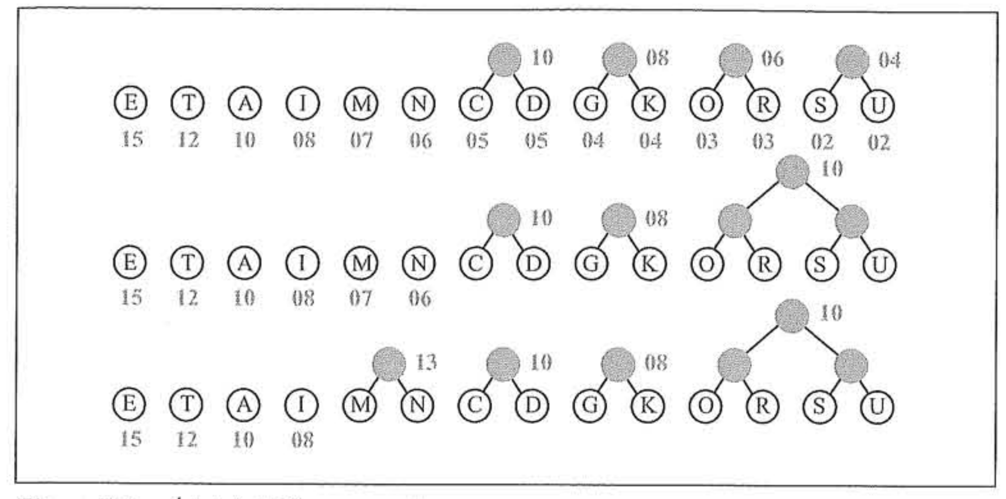


Figura F.4. *Árbol de Huffman, parte 1.*

El peso del nuevo nodo son los pesos combinados de los dos nodos originales. Este nodo, situado un nivel por encima de las hojas, se puede elegir para combinarse con otros nodos. Recuerde, la suma de los pesos de los dos nodos debe elegirse para que sean más pequeños que la combinación de cualquier otra posible elección.

3. Se repite el paso 2 hasta que todos los nodos, en cada nivel, se han combinado en un único árbol.

La Figura F.4 muestra parte de este proceso. La primera fila de la figura muestra los nodos hoja que representan los caracteres originales organizados en orden descendente de valor. Se localizan los dos nodos con los valores más pequeños y se combinan. Como se puede ver, este proceso da lugar a la creación de un nuevo nodo (representado por un círculo relleno). El valor de la frecuencia (peso) de este nuevo nodo es la suma de los pesos de los dos nodos. La primera fila muestra cuatro nodos combinados.

En la segunda fila, los nodos con los valores más bajos se encuentran en el primer nivel, en lugar de en los caracteres en sí. Se combinan en un nodo dos niveles situados por encima de las hojas. En la tercera fila, el nodo con valor más bajo tiene un valor de 8 (I) y el segundo valor más bajo es 10. Pero hay tres 10, uno en el nivel inferior (A), uno en el siguiente nivel (C-D) y otros en el segundo nivel, correspondiente a las hojas O-R-S-U. ¿Cuál se elige? Se elige cualquiera de los 10 que se encuentre al lado del 8. Esa decisión hace que las líneas no se crucen y nos permite preservar la legibilidad del árbol.

Si ninguno de los valores superiores se encuentran adyacentes en el nivel inferior, se pueden reorganizar los nodos para mejorar la claridad (véase la Figura F.5). En la Figura (tercera fila), se ha movido el carácter T del lado de la izquierda del árbol a la derecha para combinarlo con un nodo de ese lado. Se mueve el carácter E por la misma razón.

La Figura F.6 muestra el resto del proceso. Como se puede ver, el árbol completo da lugar un único nodo en la raíz (con el valor 86).

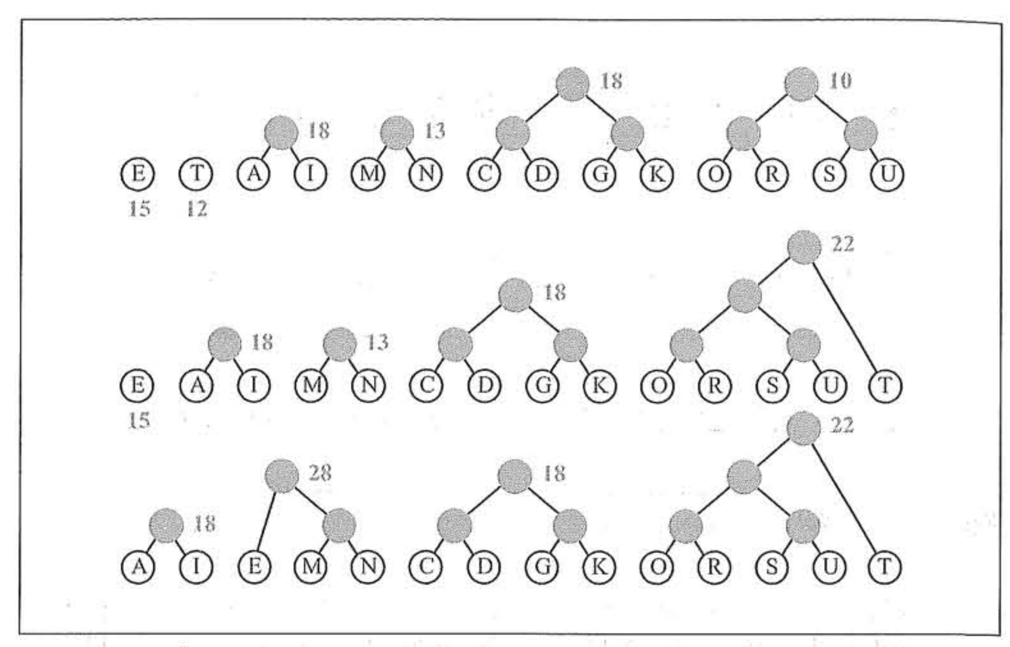


Figura F.5. *Árbol de Huffman, parte 2.*

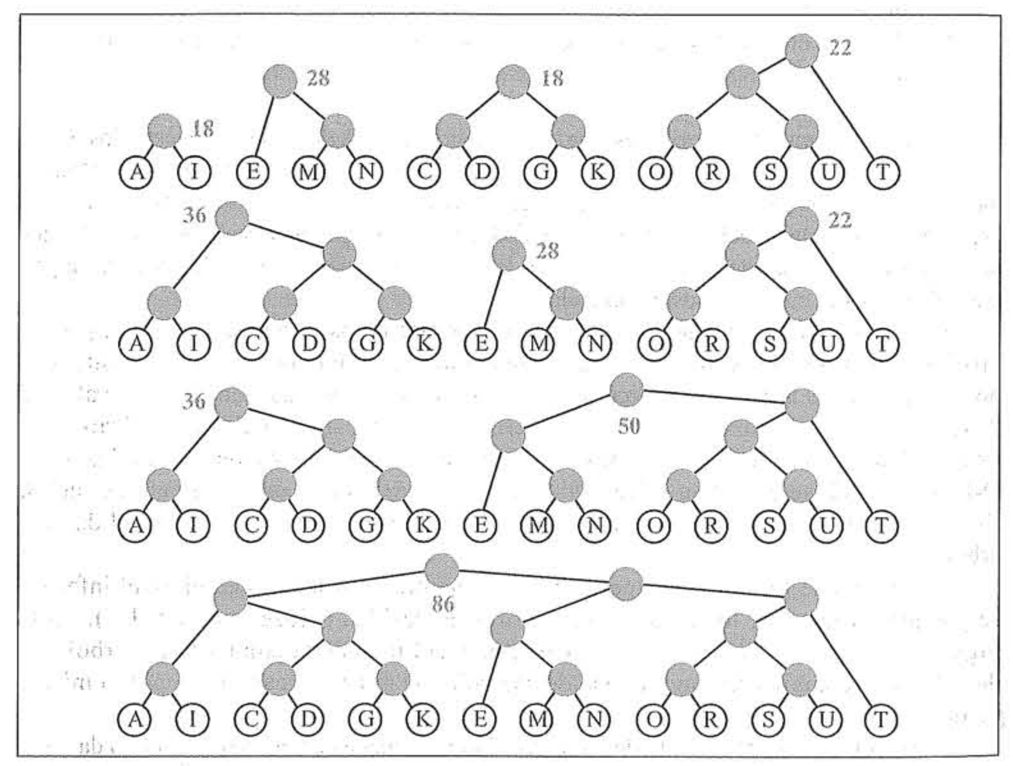


Figura F.6. *Árbol de Huffman, parte 3.*

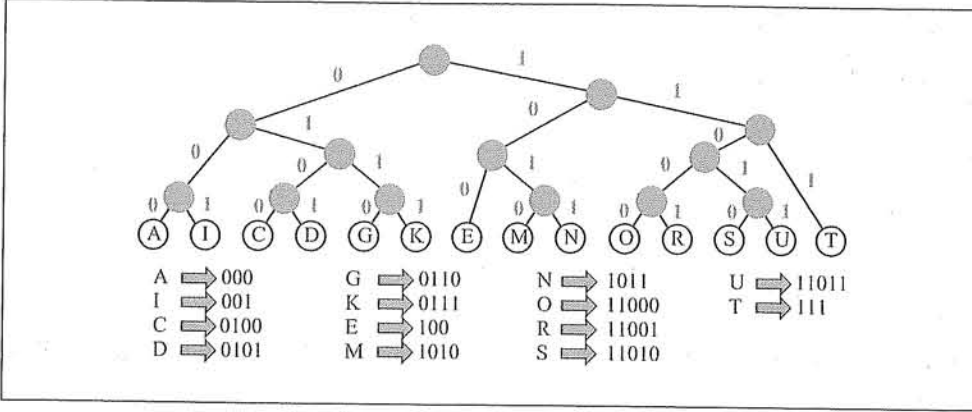


Figura F.7. *Asignación de códigos.*

F.2. ASIGNACIÓN DE CÓDIGOS

Una vez completado el árbol, éste se utiliza para asignar los códigos a cada carácter. En primer lugar, se asigna un valor de un bit a cada rama (véase la Figura F.7). Comenzando desde la raíz (nodo superior), se asigna un 0 a la rama de la izquierda y un 1 a la rama de la derecha y se repite este patrón en cada nodo. A qué rama se asigna un 0 y a qué rama se asigna un 1 es decisión del diseñador, siempre que las asignaciones se realicen de forma consistente a lo largo del árbol.

El código de un carácter se obtiene comenzando desde la raíz y siguiendo las ramas que permiten llegar al carácter. El código es el valor del bit de cada rama en el camino tomado en la secuencia. En nuestro ejemplo, A = 000, G = 0110, etc. El código para cada carácter y la frecuencia del carácter se muestra en la Tabla F.1. Como se puede ver, ningún código es prefijo de ningún otro debido a que cada uno ha sido obtenido siguiendo un camino diferente desde la raíz. Los códigos de tres bits que representan a los caracteres E, T, A e I no coinciden con los tres primeros bits de cualquier código de cuatro o cinco bits, y los códigos de cuatro bits no coinciden con los tres primeros bits de cualquier código de cinco bits.

Tabla F.1. *Tabla de asignación de códigos*

Carácter	*Frecuencia*	*Código*	*Carácter*	*Frecuencia*	*Código*
E	15	100	D	5	0101
T	12	111	G	4	0110
A	10	000	K	4	0111
I	8	001	O	3	11000
M	7	1010	R	3	11001

Tabla F.1. *Tabla de asignación de códigos (continuación)*

Carácter	*Frecuencia*	*Código*	*Carácter*	*Frecuencia*	*Código*
N	6	1011	S	2	11010
C	5	0100	U	2	11011

F.3. CODIFICACIÓN

Un mensaje codificado de esta forma se puede interpretar sin ambigüedad, utilizando el siguiente proceso:

1. El receptor almacena los tres primeros bits recibidos en memoria e intenta hacerlos corresponder con uno de los códigos de tres bits. Si se encuentra una correspondencia, ese carácter se selecciona y los tres bits se descartan. El receptor luego repite este paso con los siguientes tres bits.
2. Si no se encuentra ninguna correspondencia, el receptor lee el siguiente bit del flujo y lo añade a los tres primeros bits. Entonces intenta encontrar una coincidencia con los códigos de cuatro bits. Si se encuentra, el carácter correspondiente es elegido y se descartan los bits.
3. Si no se encuentra ninguna coincidencia, el receptor lee el siguiente bit del flujo e intenta hacer corresponder los cinco bits con los códigos de cinco bits. Si encuentra una coincidencia, el carácter es el asignado y se descartan los bits. Si no, se ha producido un error.

La Figura F.8 muestra una serie de bits y su interpretación en el receptor. El receptor lee los tres primeros bits (110) y los compara con los códigos de tres bits. No encuentra ninguno que coincida, así que añade el siguiente bit (1). Ahora compara los cuatro bits con los códigos de cuatro bits. De nuevo no encuentra ninguna coincidencia, así que añade el siguiente bit (0) y compara 11010 con los códigos de cinco bits. 11010 representa al carácter S; por lo tanto, se elige S y se descartan los cinco bits anteriores, comenzando el proceso de nuevo con los siguientes tres bits (101).

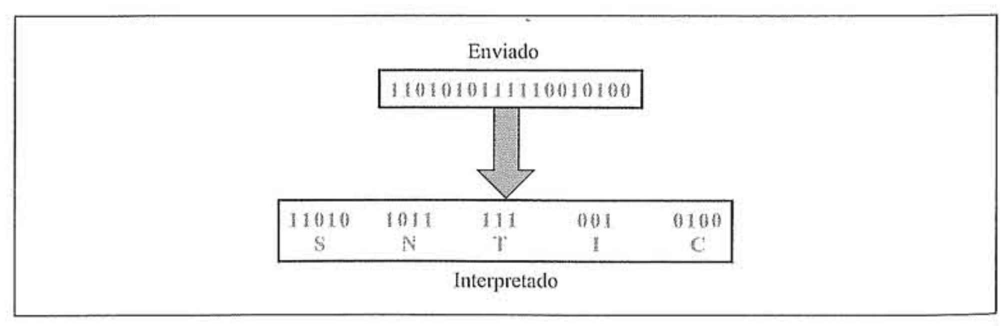


Figura F.8. *Transmisión sin ambigüedad.*

APÉNDICE G

Método de compresión LZW (Lempel-Ziv-Welch)

El método de compresión LZW es una evolución de método originalmente creado por Abraham Lempel y Jacob Ziv (método Lempel-Ziv). Más tarde este algoritmo fue mejorado por los dos creadores (dando lugar a LZ77 y LZ78). Terry Welch modificó más tarde el algoritmo y ahora se denomina LZW (Lempel-Ziv-Welch).

En este apéndice se presenta una versión muy simplificada, como una introducción para los estudiantes y lectores que no tengan un conocimiento previo de este método. Se han omitido deliberadamente muchos detalles y aspectos relacionados con la comprobación de errores.

Lo bonito de este procedimiento es que es un método de compresión sin pérdida, de forma que el texto completo se puede recuperar completamente. El método es en algunas ocasiones preferible al sistema de codificación Huffman, debido a que no se requiere un conocimiento a priori de las frecuencias de los símbolos.

G.1. COMPRESIÓN

La compresión, que se realiza en el emisor, tiene los siguientes componentes: un diccionario, un registro temporal y un algoritmo.

Diccionario

Para comprimir y descomprimir, LZW utiliza un diccionario compuesto por dos filas (o columnas). La primera fila define el código; la segunda fila define la cadena (*string*) que se corresponde con ese código.

Ante de comenzar la compresión, se inicializa el diccionario con solo un conjunto de caracteres alfabéticos del texto. Por ejemplo, si el texto consta de solo tres símbolos, A, B y

Tabla G.1. *Diccionario original para un texto de tres símbolos*

1	*2*	*3*				
A	B	C				

Cadenas al diccionario | Buffer | Símbolos del texto

Códigos enviados

Figura G.1. *Registro en el sitio compresor.*

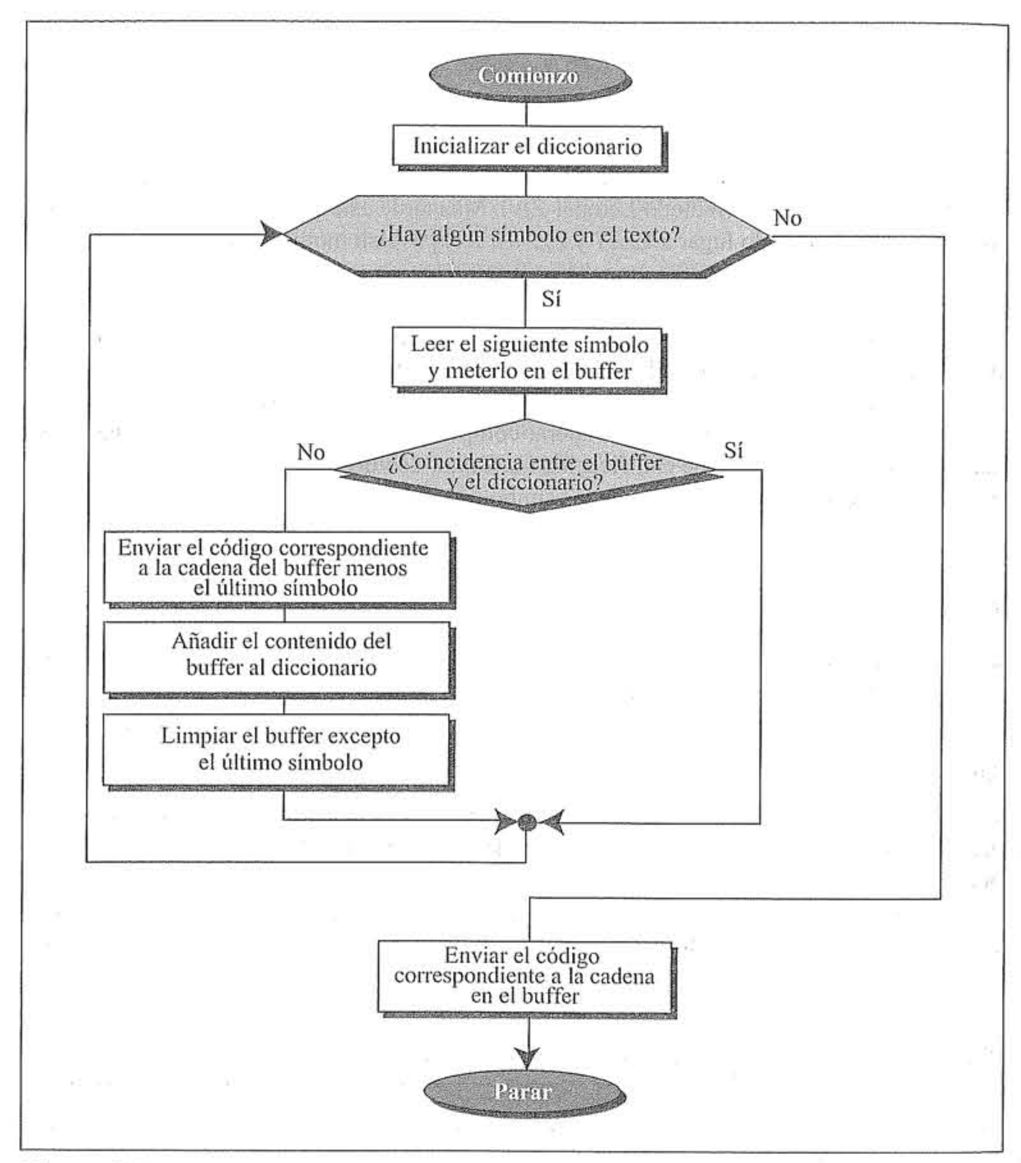


Figura G.2. *Algoritmo de compresión.*

C, el diccionario originalmente tiene 3 columnas, pero se hará cada vez más grande a medida que el texto sea comprimido o descomprimido (véase la Tabla G.1).

Registro

LZW utiliza un registro. Los símbolos entran en el registro de uno en uno. Las cadenas se transfieren al diccionario y el código correspondiente se envía de acuerdo al algoritmo descrito más adelante. La Figura G.1 muestra el registro.

Algoritmo de compresión

La Figura G.2 muestra el diagrama de flujo del algoritmo de compresión.

El algoritmo, que es una versión muy simplificada del descrito en la literatura, intenta comparar la entrada con la cadena más larga del diccionario. Para ello, lee los símbolos, uno a uno, de la cadena de entrada y los almacena en el registro. Para cada carácter, comprueba si la cadena coincide con alguna del diccionario. Si la encuentra, intenta leer más símbolos. Si después de leer un símbolo más, no hay coincidencia, el proceso envía el código correspondiente a la cadena sin el último símbolo (se garantiza que se puede encontrar en el diccionario). Luego añade la cadena completa al diccionario (para uso posterior). Limpia el registro excepto el último símbolo, debido a que el último símbolo no se ha enviado todavía. El último carácter permanece en el registro para convertirse en parte de la siguiente cadena.

Ejemplo de compresión

La Figura G.3 muestra un ejemplo de compresión que utiliza el método LZW. El texto de entrada, BABACABABA, se comprime a 214358 de la siguiente forma:

- El diccionario se inicializa con tres símbolos (A, B y C en este ejemplo). El registro está vacío.
- El primer símbolo del texto (B) entra en el registro. Este símbolo ya está en el diccionario, así que el algoritmo continúa con la siguiente iteración.
- El segundo símbolo (A) entra en el registro. La cadena BA no se encuentra en el diccionario, así que la cadena B (la cadena completa sin el último carácter) se codifica como 2 y se envía. La cadena (BA) se añade al diccionario y del registro se elimina la B (solo permanece la A).
- El tercer símbolo (B) ahora entra en el registro. La cadena AB no se encuentra en el diccionario, por lo que A se codifica como 1 y se envía. La cadena AB se añade al diccionario y del registro se elimina la A (solo permanece B en el registro).
- El cuarto símbolo (A) ahora entra en el registro. La cadena BA ya se encuentra en el diccionario, por lo que el algoritmo continúa con la siguiente iteración.
- El quinto símbolo (C) entra en el registro. La cadena BAC no se encuentra en el diccionario, por lo que BA se codifica como 4 y se envía. La cadena BAC se añade al diccionario. Del registro se elimina lo que ha sido codificado (BA). El único símbolo que permanece en el registro es la C.
- El sexto símbolo (A) entra en el registro. La cadena CA no está en el diccionario, por lo que C se codifica como 3 y se envía. La cadena CA se añade al diccionario. Del registro se elimina lo que se ha codificado y enviado (C). El símbolo que queda es la A.

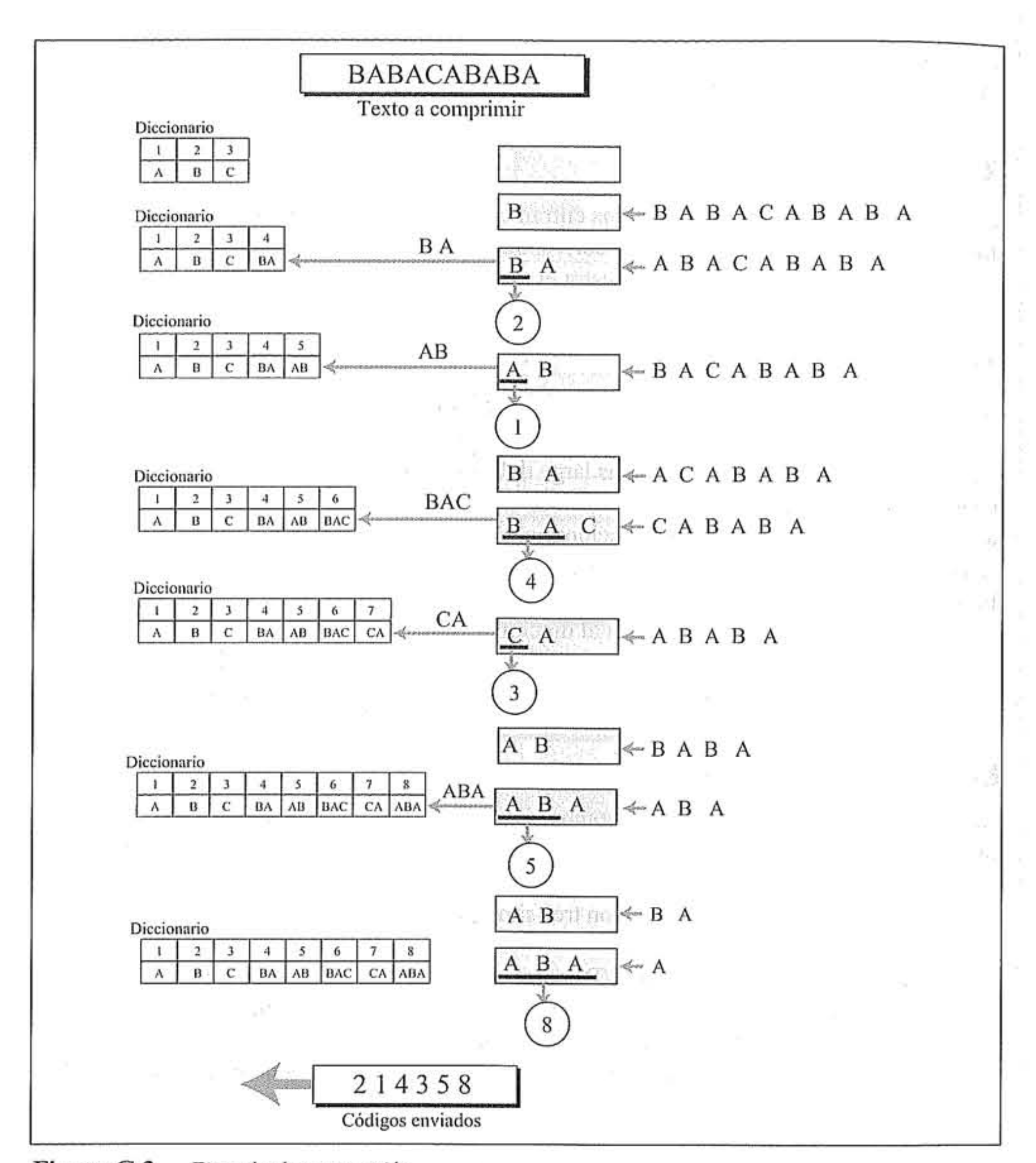


Figura G.3. *Ejemplo de compresión.*

- El séptimo símbolo entra (A). La cadena ABA no se encuentra en el diccionario, por lo que AB se codifica como 5 y se envía. La cadena ABA se añade al diccionario. Del registro se elimina lo que se ha codificado y enviado (AB). El único símbolo que permanece es A.
- El noveno símbolo entra (B). La cadena AB se encuentra en el diccionario.
- El décimo símbolo (A) entra ahora. La cadena ABA se encuentra en el diccionario, por lo que el algoritmo quiere comenzar con la siguiente iteración pero ya no quedan más símbolos. El algoritmo termina el bucle y envía el código correspondiente a la cadena ABA (código 8).

G.2. DESCOMPRESIÓN

El proceso de descomposición, que tiene lugar en el receptor, utiliza los mismos componentes que el proceso de compresión.

Diccionario

Un aspecto muy interesante es que el emisor no envía el diccionario creado por el proceso de compresión; en su lugar, el diccionario será creado de nuevo en el receptor. Este diccionario, sorprendentemente, es una réplica exacta del diccionario creado en el emisor. En otras palabras, la información del diccionario se encuentra empotrada dentro de los códigos transmitidos.

Registros

El proceso de descompresión utiliza dos registros. Los códigos que llegan se decodifican y los símbolos resultantes se almacenan en un registro temporal antes de introducirse, un símbolo cada vez, en el registro principal. Puesto que cada código puede representar más de un símbolo, el registro temporal se necesita para almacenar los símbolos antes de que sean consumidos de forma individual por el registro principal (véase la Figura G.4).

Algoritmo de descompresión

La Figura G.5 muestra el diagrama de flujo del algoritmo de descompresión. Nuestro algoritmo, que de nuevo es una versión muy simplificada del descrito en la literatura, tiene dos bucles. El primer bucle, en cada iteración, decodifica cada código recibido y envía los símbolos resultantes al registro temporal. El segundo bucle lee los símbolos uno a uno del registro temporal y en algún momento hace lo mismo que el algoritmo de compresión. De esta forma, el registro temporal simula la cadena de entrada del algoritmo de compresión. El algoritmo construye de forma gradual el diccionario que permite que los códigos que llegan sean decodificados. El aspecto interesante sobre el algoritmo es que, antes de que se haya recibido cualquier código, la entrada del diccionario necesaria para decodificar ese código concreto ya se encuentra allí. En otras palabras, el código anterior siempre prepara el diccionario para el siguiente código.

Ejemplo de descompresión

La Figura G.6 muestra un ejemplo de descompresión. Se utiliza el mismo código enviado por el emisor en el ejemplo de compresión y se va a ver si se obtiene el mismo texto original sin pérdida. El proceso es casi el mismo que el utilizado en la compresión.

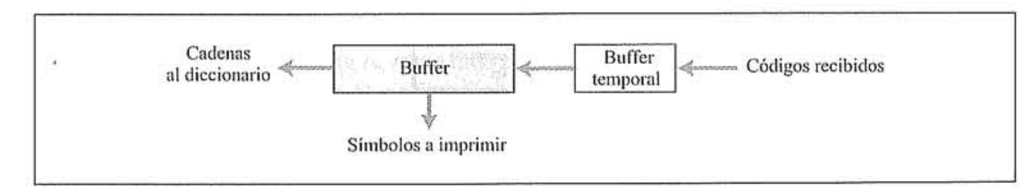


Figura G.4. *Registros en el descompresor.*

- El diccionario se inicializa con los tres símbolos que se están utilizando en este ejemplo. El registro y el registro temporal se encuentran vacíos.
- El primer código (2) se decodifica y el símbolo correspondiente (B) entra en el registro temporal. El registro lee este símbolo. La cadena está en el diccionario.
- El segundo código (1) se decodifica y el símbolo correspondiente (A) entra en el registro temporal. El registro lo lee. Ahora la cadena BA se encuentra en el registro; el símbolo B se imprime; la cadena BA se añade al diccionario; del registro se elimina la B; el único símbolo que permanece es la A.
- El registro temporal está vacío, por lo que el siguiente código debería ser decodificado. El siguiente código es 4 (observe que la entrada correspondiente para 4 ya se encuentra en el diccionario, ya que fue introducida en la iteración anterior) que se ha

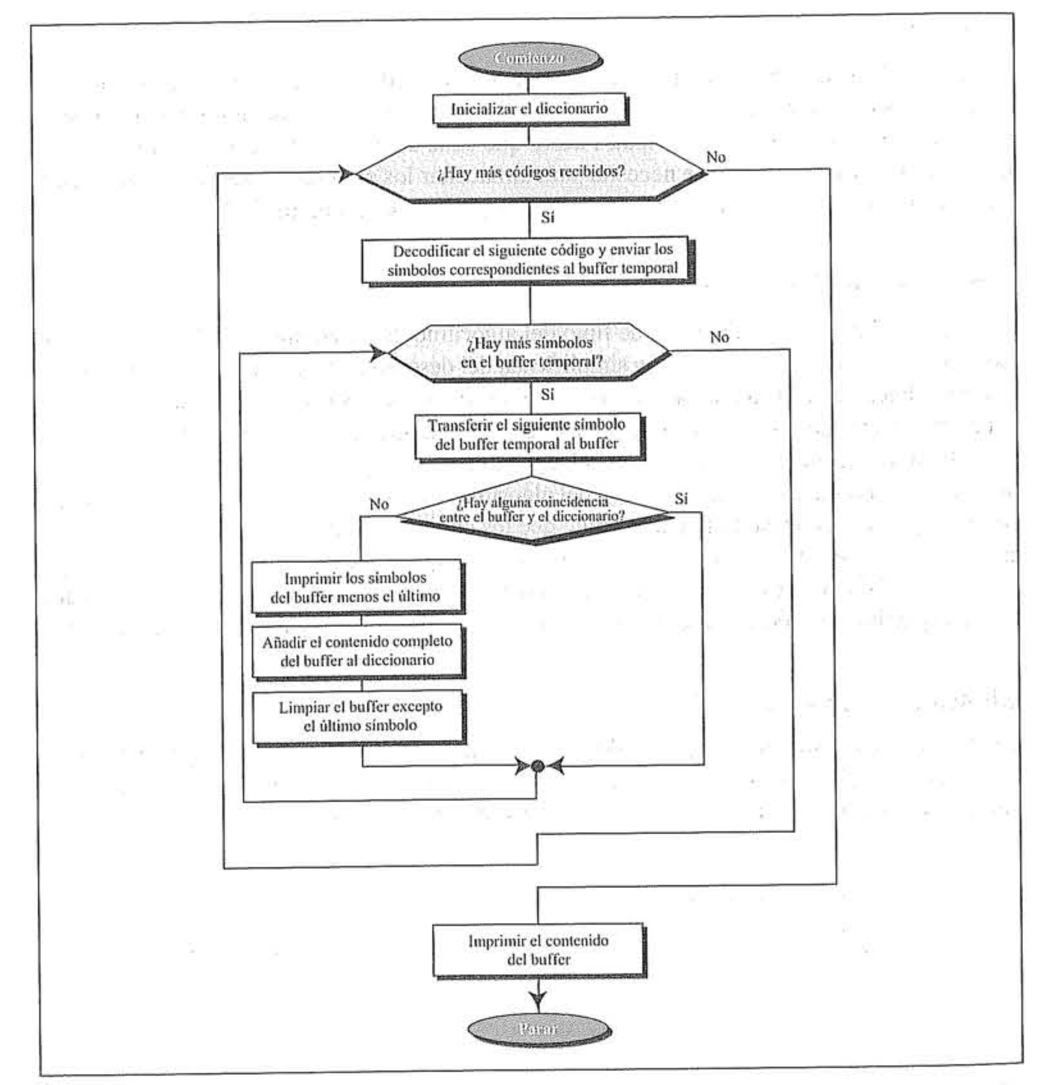


Figura G.5. *Algoritmo de descompresión.*

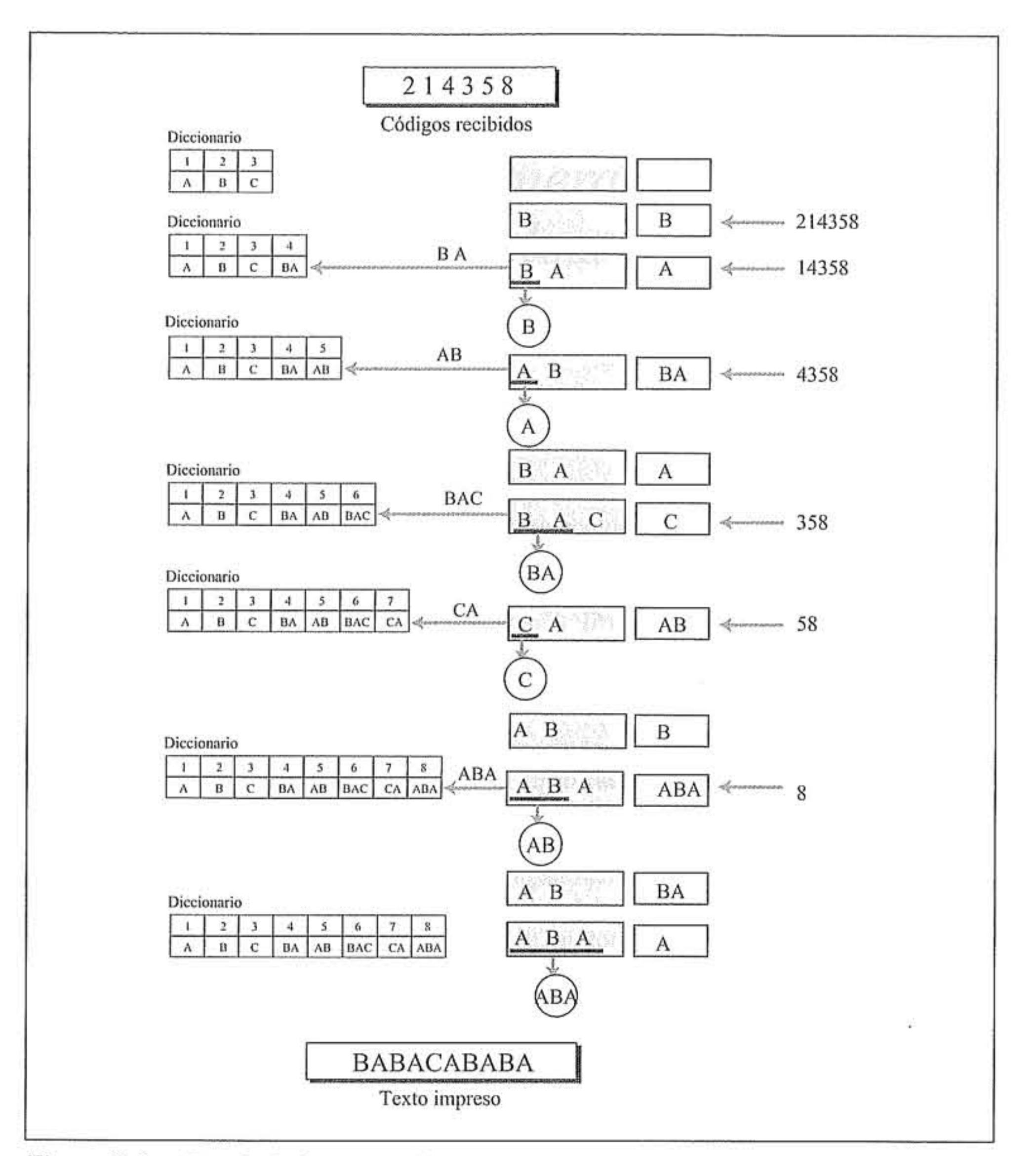


Figura G.6. *Ejemplo de descompresión.*

decodificado como BA. La cadena entra en el registro temporal. El registro lee solo el primer carácter y añade este al contenido del registro. El resultado es AB. El código no está en el diccionario, así que se imprime A y AB se añade al diccionario. Del registro se elimina la A, quedando solo el símbolo B.

- El resto del proceso es similar. Se deja al lector que lo complete.

APÉNDICE H

Siguiente generación de TCP/IP Conjunto de protocolos: IPv6 e ICMPv6

El protocolo de nivel de red en el conjunto de protocolos TCP/IP es actualmente IPv4 (Protocolo entre redes, versión 4). IPv4 ofrece comunicación estación a estación entre sistemas conectados a Internet. Aunque IPv4 está bien diseñado, la comunicación de datos ha evolucionado desde la aparición de IPv4 en los años 70. IPv4 tiene algunas deficiencias que lo hacen inadecuado para el rápido crecimiento de Internet. Entre estas deficiencias se pueden citar las siguientes:

- IPv4 tiene una estructura de direcciones de dos niveles (identificador de red e identificador de estación) clasificadas en cinco categorías (A, B, C, D y E). El uso del espacio de direcciones es ineficiente. Por ejemplo, cuando una organización obtiene una dirección de clase A, se le asignan 16 millones de direcciones del espacio de direcciones para uso exclusivo de la organización. Si una organización obtiene una dirección de clase C, por otro lado, sólo se le asignan 256 direcciones, lo cual puede ser un número insuficiente. También, millones de direcciones están gastadas en las clases D y E. Este método de direccionamiento ha reducido el espacio de direcciones de IPv4, y pronto no habrá direcciones libres para asignar a nuevos sistemas que se quieran conectar a Internet. Aunque las estrategias basadas en subredes y superredes han aliviado algo el problema del direccionamiento, las subredes y las superredes hacen el encaminamiento más complicado, como se ha visto en los capítulos anteriores.
- Internet debe acomodar transmisión de vídeo y de sonido en tiempo real. Este tipo de transmisión requiere estrategias de mínimo retardo y la reserva de recursos no está contemplada en el diseño de IPv4.
- Internet debe utilizar cifrado y autenticación de los datos para algunas aplicaciones. IPv4 no ofrece ningún mecanismo de cifrado ni de autenticación.

Para solucionar estas deficiencias, **IPv6** (Protocolo entre redes, versión 6), también conocido como **IPng (Protocolo entre redes, siguiente generación)** se ha propuesto y es ahora un estándar. En IPv6, el protocolo Internet se ha modificado ampliamente para hacer frente al gran crecimiento de Internet. El formato y la longitud de las direcciones IP se ha cambiado junto con el formato del paquete. Los protocolos relacionados, como ICMP, también se han modificado. Otros protocolos en el nivel de red, como ARP, RARP y ICMP, o han sido

borrados o se han incluido en el protocolo ICMP. Los protocolos de encaminamiento como RIP y OSPF, se han modificado ligeramente para acomodar estos cambios. Los expertos en comunicación predicen que IPv6 y sus protocolos relacionados reemplazarán pronto a la actual versión de IP. En este capítulo se trata en primer lugar IPv6 y, a continuación, ICMPv6.

H.1. IPv6

La siguiente generación de IP, o IPv6, tiene algunas ventajas sobre IPv4 que se pueden resumir de la siguiente forma:

- **Espacio de direcciones mayor.** Una dirección en IPv6 tiene 128 bits. Comparado con la dirección de 32 bits de IPv4, se ha incrementado cuatro veces el espacio de direcciones.
- **Formato de cabecera mejorado.** IPv6 utiliza una nueva cabecera en la que las opciones se encuentran separadas de la cabecera base y se insertan cuando son necesarias, entre la cabecera base y los datos de nivel superior. Esto simplifica y acelera el proceso de encaminamiento debido a que la mayoría de las opciones no necesitan ser verificadas por los encaminadores.
- **Nuevas opciones.** IPv6 tiene nuevas opciones que permiten funcionalidades adicionales.
- **Posibilidad de ampliaciones.** IPv6 se ha diseñado para permitir la ampliación del protocolo si así lo requieren nuevas tecnologías o aplicaciones.
- **Posibilidad de asignación de recursos.** En IPv6, el campo de tipo de servicio se ha eliminado, pero se ha añadido un mecanismo (denominado *etiqueta de flujo*) para que el origen pueda solicitar la gestión especial de los paquetes. Este mecanismo se puede utilizar para transmitir tráfico como sonido y vídeo en tiempo real.
- **Más seguridad.** Las opciones de cifrado y autenticación en IPv6 ofrecen confidencialidad e integridad de los paquetes.

Direcciones en IPv6

Una dirección en IPv6 consta de 16 bytes (octetos), con una longitud de 128 bits (véase la Figura H.1).

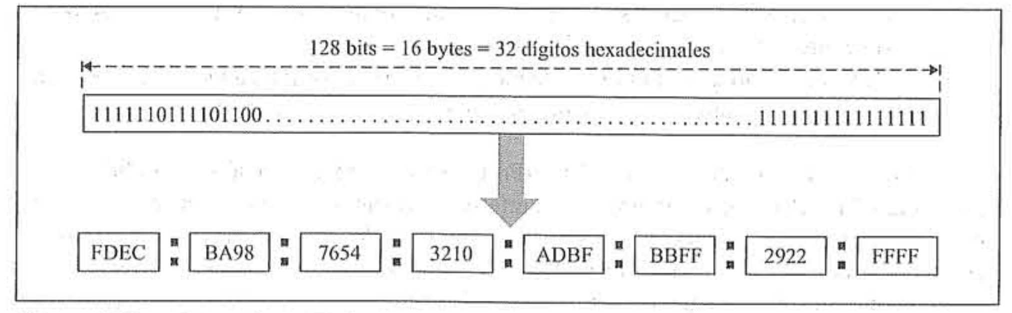


Figura H.1. *Dirección en IPv6.*

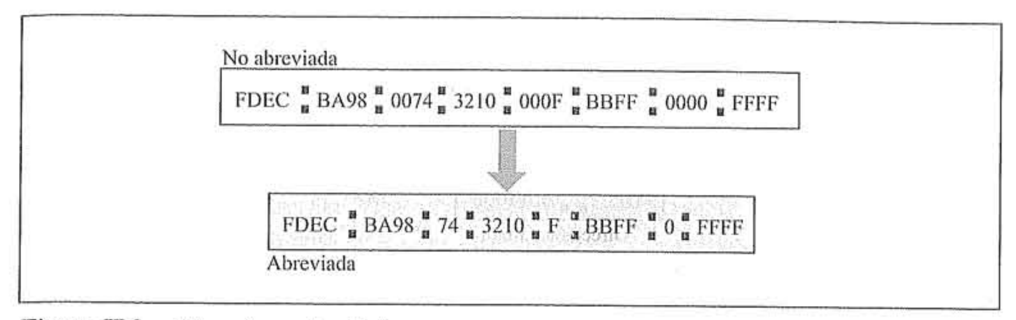


Figura H.2. *Direcciones abreviadas.*

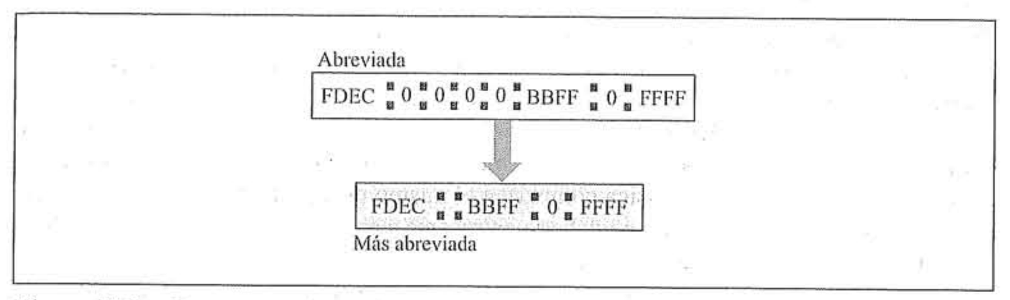


Figura H.3. *Direcciones abreviadas con ceros consecutivos.*

Notación hexadecimal con dos puntos

Para que las direcciones sean más legibles, el protocolo de direcciones en IPv6 especifica una **notación hexadecimal con dos puntos.** En esta notación, los 128 bits se dividen en ocho secciones, cada uno con dos bytes de longitud. Dos bytes en notación hexadecimal requieren cuatro dígitos hexadecimales. Por tanto, la dirección consta de 32 dígitos hexadecimales, con cada cuatro dígitos separados por dos puntos.

Direcciones abreviadas. Aunque la dirección IP, incluso en formato hexadecimal, es muy larga, muchos dígitos son cero. En este caso, se puede abreviar la dirección. Los ceros delanteros de una sección (cuatro dígitos entre dos puntos) se pueden omitir. Sólo los ceros delanteros se pueden omitir, no los que se encuentran al final. La Figura H.2 muestra un ejemplo.

Utilizando esta forma de abreviatura, 0074 se puede escribir como 74, 000F como F, y 0000 como 0. Observe que 3210 no se puede abreviar. Más abreviaturas son posibles si hay secciones consecutivas que constan sólo de ceros. Se pueden eliminar los ceros juntos y reemplazarlos por dos puntos seguidos. La Figura H.3 muestra este concepto.

Observe que este tipo de abreviatura solo se permite una vez por dirección. Si hay dos ráfagas de secciones con ceros, sólo una de ellas puede ser abreviada. La reexpansión de las direcciones abreviadas es muy sencilla: se alinean las porciones no abreviadas y se insertan ceros para obtener la dirección expandida original.

En algunas ocasiones se necesitan poder hacer referencia a solo una parte de la dirección, y no a toda. Para ello, se sitúa el carácter/después de los dígitos que se desean mantener, y se sigue con el número de dígitos que se mantienen. Por ejemplo, la Figura H.4 muestra cómo se pueden escribir las seis primeras secciones de una forma más corta.

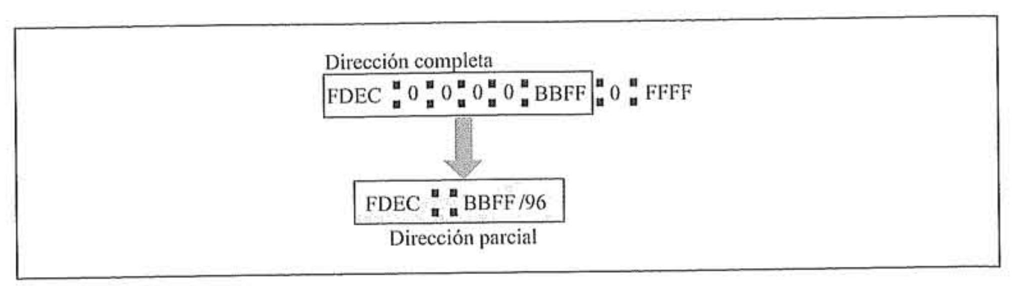


Figura H.4. *Dirección parcial.*

Categorías de direcciones

IPv6 define tres tipos de dirección: unidestino, a cualquier destino y multienvío.

Direcciones unidestino Una dirección **unidestino** define a una única computadora. El paquete enviado a una dirección de este tipo debería ser entregado a la computadora específica.

Direcciones a cualquier destino Una dirección a cualquier destino define un grupo de computadoras cuyas direcciones tienen el mismo prefijo. Por ejemplo, todas las computadoras conectadas a la misma red física comparten el mismo prefijo de dirección. Un paquete enviado a una dirección de este tipo debería entregarse a exactamente uno de los miembros del grupo, el más cercano o el más fácilmente accesible.

Dirección multienvío Una dirección multienvío define un grupo de computadoras que pueden o no compartir el mismo prefijo y pueden o no estar conectadas a la misma red física. Un paquete enviado a una dirección multienvío debería entregarse a cada miembro del conjunto.

Asignación del espacio de direcciones

El espacio de direcciones tiene muchos objetivos diferentes. Los diseñadores de las direcciones IP dividieron el espacio de direcciones en dos partes, siendo la primera parte el *prefijo de tipo*. Este prefijo de longitud variable define el objetivo de la dirección. Los códigos se han diseñado para que ningún código sea idéntico a la primera parte de cualquier otro código. De esta forma, no hay ambigüedad: dada una dirección, el prefijo del tipo se puede determinar fácilmente. La Figura H.5 muestra el formato de una dirección IPv6.

La Tabla H.1 muestra el prefijo de cada tipo de dirección. La tercera columna muestra la fracción de cada tipo de dirección respecto al espacio de direcciones completo.

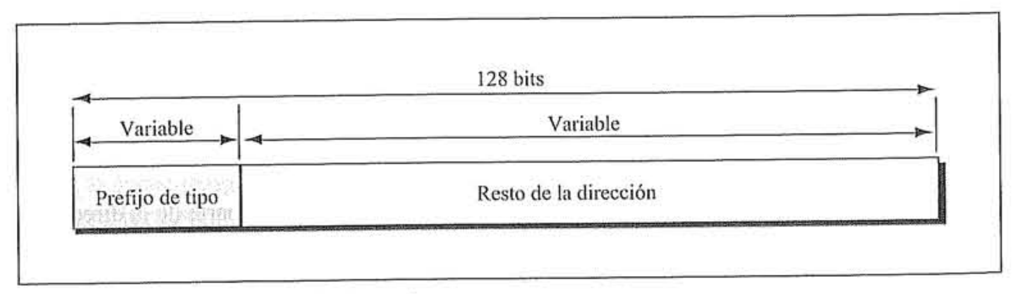


Figura H.5. *Estructura de la dirección.*

Tabla H.1. *Prefijos de tipo para las direcciones IPv6*

Prefijo de tipo	*Tipo*	*Fracción*
0000 0000	Reservado	1/256
0000 0001	Reservado	1/256
0000 001	Punto de acceso a servicio de red (NASP)	1/128
0000 010	IPX (Novell)	1/128
0000 011	Reservado	1/128
0000 100	Reservado	1/128
0000 101	Reservado	1/128
0000 110	Reservado	1/128
0000 111	Reservado	1/128
0001	Reservado	1/16
001	Reservado	1/8
010	**Dirección unidestino basada en proveedor**	**1/8**
011	Reservado	1/8
100	Dirección unidestino geográfica	1/8
101	Reservado	1/8
101	Reservado	1/8
1110	Reservado	1/16
11110	Reservado	1/32
1111 10	Reservado	1/64
1111 110	Reservado	1/128
1111 1110 0	Reservado	1/512
1111 1110 10	Dirección local de enlace	1/1024
1111 1110 11	Dirección local de enlace	1/1024
1111 1111	Dirección multienvío	1/256

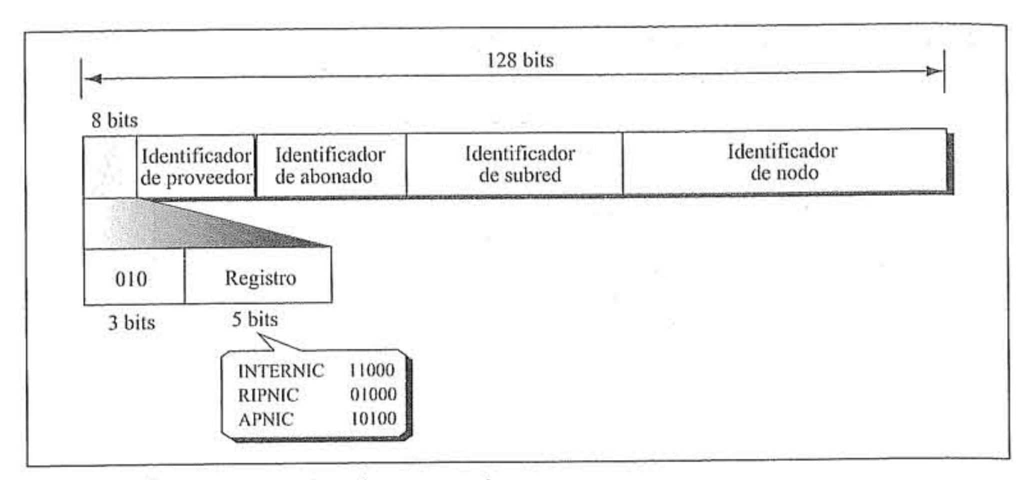


Figura H.6. *Direcciones basada en proveedor.*

Dirección unidestino basada en proveedor La dirección basada en proveedor es utilizada generalmente por una estación con una dirección unidestino. El formato de la dirección se muestra en la Figuran H.6.

Los campos de esta dirección son los siguientes:

- **Identificador de tipo.** Este campo de tres bits define la dirección como una dirección basada en proveedor.
- **Identificador de registro.** Este campo de cinco bits indica la agencia que ha registrado la dirección. En la actualidad se han definido tres centros de registro: INTERNIC (código 11000) es el centro para Norteamérica; RIPNIC (código 01000) es el centro para el registro en Europa; y APNIC (código 10100) se utiliza para los países asiáticos y pacíficos.
- **Identificador de proveedor.** Este campo de longitud variable identifica al proveedor para acceso a Internet. Se recomienda una longitud de 16 bits para este campo.
- **Identificador de abonado.** Cuando una organización se suscribe a Internet a través de un proveedor, se le asigna una identificación de abonado. Se recomienda una longitud de 24 bits para este campo.
- **Identificador de subred.** Cada abonado puede tener muchas subredes diferentes, y cada red puede tener identificadores diferentes. El identificador de subred define una red específica bajo el territorio del abonado. Se recomienda una longitud de 32 bits para este campo.
- **Identificador de nodo.** El último campo define la identidad del nodo que se conecta a una subred. Se recomienda una longitud de 48 bits para este campo para hacerlo, de esta forma, compatible con la dirección de 48 bits del enlace (físico) utilizada por Ethernet. En el futuro, la dirección del enlace será probablemente la misma que la dirección física del nodo.

Se puede pensar en una dirección basada en proveedor como una identidad jerárquica que tiene varios prefijos. Como se muestra en la Figura H.7, cada prefijo define un nivel de la jerarquía. El prefijo de tipo define el tipo, el prefijo de registro define de forma única el nivel

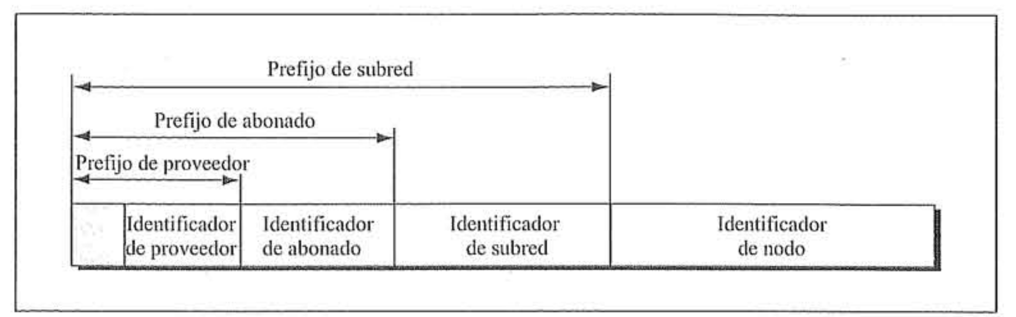


Figura H.7. *Jerarquía de direcciones.*

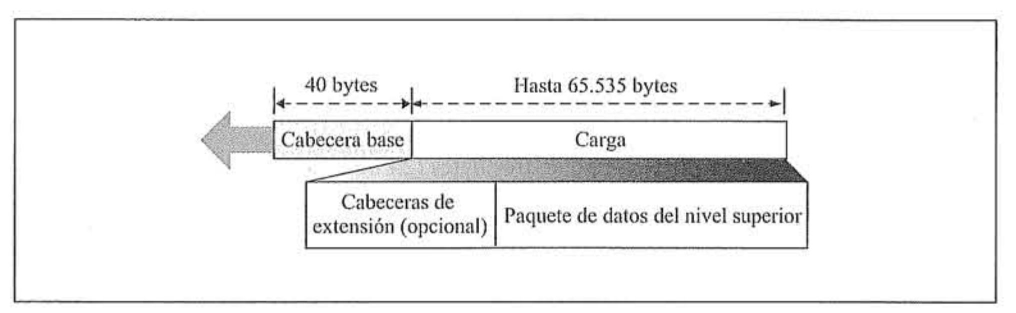


Figura H.8. *Datagrama en IPv6.*

de registro, el prefijo de proveedor define de forma única al proveedor, el prefijo de abonado define de forma única al abonado, y el prefijo de subred define de forma única a una subred.

Otras direcciones. Otros tipos de direcciones se han utilizado para objetivos que se encuentran fuera del ámbito de este libro. Para más información, véase *El conjunto de protocolos TCP/IP* de Behrouz Forouzan.

Formato del paquete IPv6

El paquete en IPv6 se muestra en la Figura H.8. Cada paquete se compone de una **cabecera base** obligatoria seguida por la carga. La carga consta de dos partes: **cabeceras de ampliación** opcionales y datos del nivel superior. La cabecera base ocupa 40 bytes, mientras que las cabeceras de ampliación y los datos del nivel superior normalmente contienen hasta 65.536 bytes de información.

Cabecera base

La Figura H.9 muestra la cabecera base con sus ocho campos. Estos campos son los siguientes:

- **Versión.** Este campo de cuatro bits define el número de versión de IP. Para IPv6, el valor es 6.
- **Prioridad.** Este campo de cuatro bits define la prioridad del paquete en relación a la congestión de tráfico. Este campo se tratará más adelante.

VER	PRI	Etiqueta de flujo	
Longitud de la carga		Cabecera siguiente	Limitador de saltos
Dirección origen			
Dirección destino			
Carga cabeceras de extensión + Paquete de datos del nivel superior			

Figura H.9. *Formato de un datagrama IPv6.*

- **Etiqueta de flujo.** Este campo de tres bytes (24 bits) que se ha diseñado para ofrecer tratamiento especial para un flujo de datos concreto. Se tratará más adelante.
- **Longitud de la carga.** Este campo de dos bytes define la longitud total del datagrama IP excluyendo la cabecera base.
- **Cabecera siguiente.** La cabecera siguiente es un campo de ocho bits que define la cabecera que sigue a la cabecera base en el datagrama. La cabecera siguiente es una de las cabeceras de ampliación opcionales utilizadas por IP en la cabecera para un protocolo de nivel superior como UDP o TCP. Cada cabecera de ampliación también contiene este campo. La Tabla H.2 muestra los valores de las cabeceras siguientes. Observe que el campo en la versión 4 se denomina *protocolo*.
- **Límite de salto.** Este campo sirve para lo mismo que el campo TTL en IPv4.
- **Dirección origen.** La dirección origen es un campo de 16 bytes (128 bits) que identifica la dirección del emisor del datagrama.
- **Dirección destino.** El campo con la dirección destino es una dirección Internet de 16 bytes (128 bits) que normalmente identifica al destino final del datagrama. Sin embargo, si se utiliza encaminamiento desde el origen, este campo contiene la dirección del siguiente encaminador.

Tabla H.2. *Códigos de cabeceras siguientes*

Código	*Cabecera siguiente*
0	Opción salto a salto
2	ICMP
6	TCP
17	UDP
43	Encaminamiento desde el origen
44	Fragmentación
50	Carga de seguridad cifrada
51	Autenticación
59	Nula (no hay siguiente cabecera)
60	Opción de destino

Prioridad

El campo de prioridad en el paquete IPv6 define la prioridad de cada paquete con relación a otros paquetes del mismo origen. Por ejemplo, si uno o dos datagramas consecutivos deben descartarse debido a congestión, el datagrama con el nivel de prioridad más bajo será descartado. IPv6 divide el tráfico en dos amplias categorías: tráfico con control de congestión y tráfico sin control de congestión.

Tráfico con control de congestión Si un emisor se adapta a un tráfico lento cuando hay congestión, el tráfico se conoce como *tráfico con control de congestión*. Por ejemplo, el protocolo TCP, que utiliza el protocolo de ventana deslizante, puede fácilmente responder al tráfico. En tráfico con control de congestión, se sabe que los paquetes pueden llegar con retraso o incluso perderse o recibirse fuera de orden. Los datos con control de congestión tienen prioridades asignadas entre 0 y 7, como se muestra en la Tabla H.3. Una prioridad 0 es la más baja; la prioridad 7 es la más alta.

Tabla H.3. *Prioridad para el tráfico con control de congestión*

Prioridad	*Significado*
0	Ningún tráfico específico
1	Tráfico de fondo
2	Tráfico de datos no esperados
3	Reservado
4	Tráfico de gran cantidad de datos esperados
5	Reservado
6	Tráfico interactivo
7	Tráfico de control

A continuación se describen las prioridades:

- **Ningún tráfico específico.** La prioridad 0 se asigna a un paquete cuando el proceso no define una prioridad.
- **Datos de fondo.** Este grupo (prioridad 1) define datos que normalmente se entregan de fondo. La entrega de las noticias (*news*) es un buen ejemplo.
- **Tráfico de datos no esperado.** Si el usuario no está esperando la recepción de datos, un paquete tendrá prioridad 2. El correo electrónico pertenece a este grupo. Un usuario inicia un mensaje de correo electrónico, pero el receptor no sabe que le va a llegar este mensaje. Además, el correo electrónico normalmente se almacena antes de reenviarse. Un poco de retardo no tiene graves consecuencias.
- **Tráfico de gran cantidad de datos esperados.** El protocolo que transfiere un gran volumen de datos mientras el usuario está esperando a recibirlos (posiblemente con retardo) tiene prioridad 4. FTP y http pertenecen a este grupo.
- **Tráfico interactivo.** A los protocolos como TELNET que necesitan interacción con el usuario se les asigna la segunda prioridad más alta (6) en este grupo.
- **Tráfico de control.** El tráfico de control tiene asignada la mayor prioridad (7) en esta categoría. Los protocolos de encaminamiento como OSPF y RIP y los protocolos de gestión como SNMP utilizan esta prioridad.

Tráfico sin control de congestión Este se refiere a un tipo de tráfico que espera un mínimo retardo. No es deseable el descarte de paquetes. La retransmisión en la mayoría de los casos es imposible. En otras palabras, el emisor no se adapta a la congestión. El sonido y el vídeo en tiempo real son buenos ejemplos de este tipo de tráfico.

Los números de prioridad que se asignan al tráfico sin control de congestión van del 8 al 15. Aunque no hay todavía ninguna asignación estándar para este tipo de datos, las prioridades se asignan normalmente de acuerdo a cómo la calidad de los datos recibidos puede ser afectada por el descarte de algunos paquetes. Los datos que contienen menos redundancia (como el sonido o vídeo de baja fidelidad) pueden tener una prioridad mayor (15). Los datos que contienen más redundancia (como el sonido o el vídeo de alta fidelidad) deberían tener la prioridad más baja (8). Véase la Tabla H.4.

Tabla H.4. *Prioridad para el tráfico sin control de congestión*

Prioridad	*Significado*
8	Datos con más redundancia
.	.
.	.
.	.
15	Datos con menos redundancia

Etiqueta de flujo

Una secuencia de paquetes, enviados desde un emisor determinado a un destino, que necesita acciones especiales en los encaminadores se denomina *flujo* de paquetes. La combinación de la dirección fuente y el valor de la *etiqueta de flujo* definen de forma única a un flujo de paquetes.

Para un encaminador, un flujo es una secuencia de paquetes que comparten las mismas características, como la circulación por el mismo camino, que utiliza los mismos recursos, que tiene el mismo tipo de seguridad, etc. Un encaminador que soporta el manejo de etiquetas de flujo tiene una tabla con etiquetas de flujo. La tabla tiene una entrada por cada etiqueta de flujo activa; cada entrada define los servicios requeridos por la etiqueta de flujo correspondiente. Cuando un encaminador recibe un paquete, consulta su tabla de etiquetas de flujo para encontrar la entrada correspondiente con el valor de etiqueta definido en el paquete. A continuación proporciona al paquete los servicios mencionados en la entrada. Sin embargo, observe que la etiqueta de flujo no proporciona la información para las entradas de la tabla de etiquetas de flujo; esa información es proporcionada por otros medios como las opciones salto a salto u otros protocolos.

En su forma más sencilla, una etiqueta de flujo puede utilizarse para acelerar el procesamiento de un paquete en un encaminador. Cuando un encaminador recibe un paquete, en lugar de consultar la tabla de encaminamiento y ejecutar el algoritmo de encaminamiento para definir la dirección del siguiente salto, puede fácilmente buscar en una tabla de etiquetas de flujo el siguiente salto.

En su forma más sofisticada, una etiqueta de flujo se puede utilizar para soportar la transmisión de vídeo y sonido en tiempo real. El sonido o el vídeo en tiempo real, concretamente en formato digital, requiere recursos como grandes anchos de banda, grandes *registros temporales*, tiempos de procesamientos grandes, etc. Un proceso puede reservar estos recursos para garantizar que los datos en tiempo real no se retrasarán debido a la falta de recursos. El uso de datos en tiempo real y la reserva de estos recursos requiere otros protocolos como el Protocolo de tiempo real (RTP, *Real Time Protocol*) y el Protocolo de reserva de recursos (RSVP, *Resource Reservation Protocol*) además de IPv6.

Para permitir el uso efectivo de etiquetas de flujo, se han definido tres reglas:

1. La estación origen es la que asigna la etiqueta de flujo a un paquete. La etiqueta es un número aleatorio entre 1 y 2^{24}–1. Un origen no debe reutilizar una etiqueta de flujo para un nuevo flujo mientras el flujo que existe esté todavía activo.
2. Si una estación no soporta las etiquetas de flujo, fija este campo a cero. Si un encaminador no soporta las etiquetas de flujo, simplemente ignora el campo.
3. Todos los paquetes que pertenecen al mismo flujo deberían tener el mismo origen, el mismo destino, la misma prioridad y las mismas opciones.

Comparación entre las cabeceras IPv4 e IPv6

La Tabla H.5 compara las cabeceras de IPv4 y de IPv6.

Tabla H.5. *Comparación entre la cabecera del paquete IPv4 e IPv6*

Comparación
1. El campo con la longitud de la cabecera se ha eliminado de IPv6 debido a que la cabecera tiene longitud fija en esta versión.
2. El campo con el tipo de servicio se ha eliminado de IPv6. El campo prioridad junto con el campo de etiqueta de flujo tienen la misma función que el campo con el tipo de servicio.
3. El campo con la longitud total se ha eliminado de IPv6 y se ha sustituido por el campo que indica la longitud de la carga.
4. El campo de identificación, indicador y de desplazamiento se han eliminado de la cabecera base en IPv6. Se han incluido en la cabecera de ampliación de fragmentación.
5. El campo TTL en IPv6 se llama límite de saltos.
6. El campo de protocolo se ha reemplazado por el campo cabecera siguiente.
7. La suma de comprobación de la cabecera se ha eliminado debido a que la suma de comprobación es proporcionada por los protocolos de nivel superior; por tanto, no se necesita en este nivel.
8. Los campos de opciones en IPv4 se han implementado como cabeceras de ampliación en IPv6.

Cabeceras de ampliación

La longitud de la cabecera base se ha fijado a 40 bytes. Sin embargo, para dar más funcionalidad al datagrama IP, la cabecera base puede ser seguida por hasta seis cabeceras de ampliación. Muchas de estas cabeceras son opciones en IPv4. La Figura H.10 muestra el formato de la cabecera de ampliación.

Se han definido seis tipos de cabeceras: opción salto a salto, encaminamiento desde el origen, fragmentación, autenticación, carga de seguridad cifrada y opciones de destino (véase la Figura H.11).

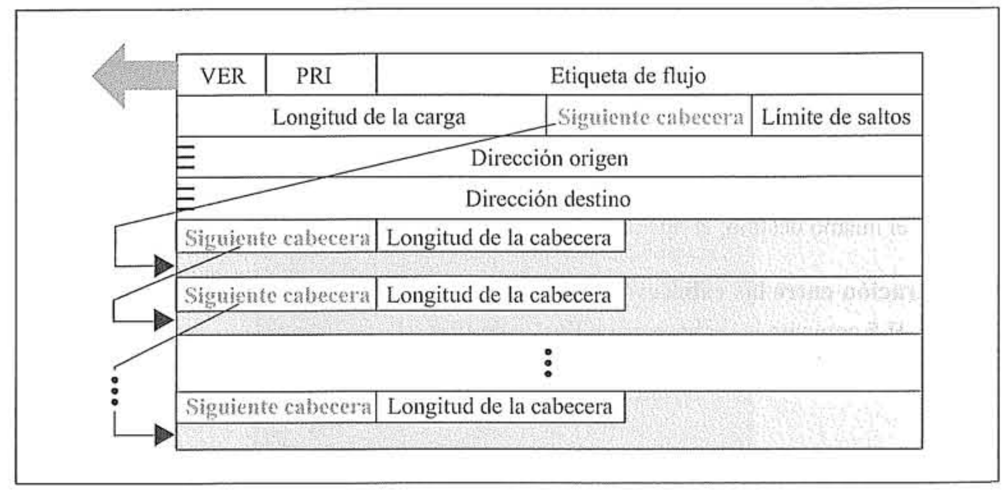


Figura H.10. *Formato de la cabecera de ampliación.*

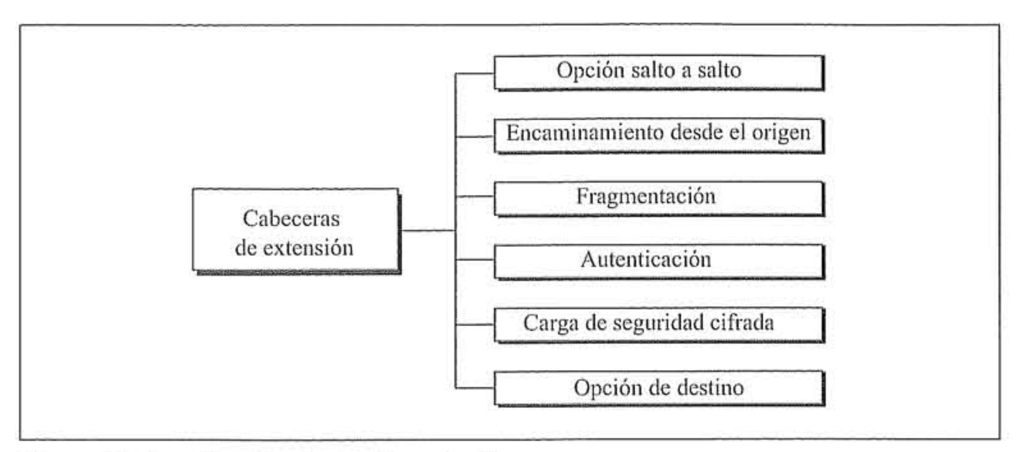


Figura H.11. *Tipos de cabecera de ampliación.*

H.2. ICMPv6

Otro protocolo que ha sido modificado en la versión 6 del conjunto de protocolos TCP/IP es ICMP (ICMPv6). Esta nueva versión sigue la misma estrategia y objetivos de la versión 4, pero ICMPv4 se ha modificado para hacerlo más adecuado para IPv6. Además, algunos protocolos que eran independientes en la versión 4 son ahora parte de ICMPv6. La Figura H.12 compara los niveles de red de las versiones 4 y 6.

Los protocolos ARP e IGMP en su versión 4 se han combinado en ICMPv6. El protocolo RARP se ha eliminado del conjunto de protocolos debido a que no se utilizaba habitualmente.

La Figura H.13 muestra las dos amplias categorías de mensajes ICMP: informe de errores y petición.

La Figura H.14 muestra los cinco mensajes de informe de errores: destino inalcanzable, paquete demasiado grande, tiempo excedido, problemas con los parámetros y redirección.

La Figura H.15 muestra los cuatro tipos de mensajes de petición: petición y respuesta de eco, solicitud y publicación de encaminador, solicitud y publicación de vecino y miembro de grupo.

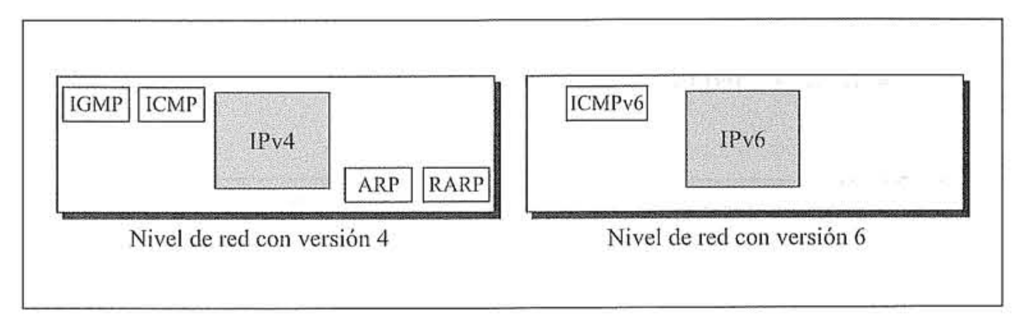


Figura H.12. *Comparación de los niveles de red de la versión 4 y 6.*

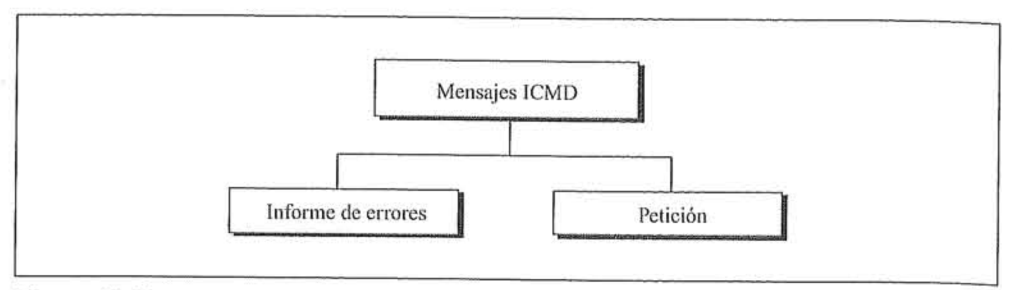


Figura H.13. *Clases de mensajes ICMP.*

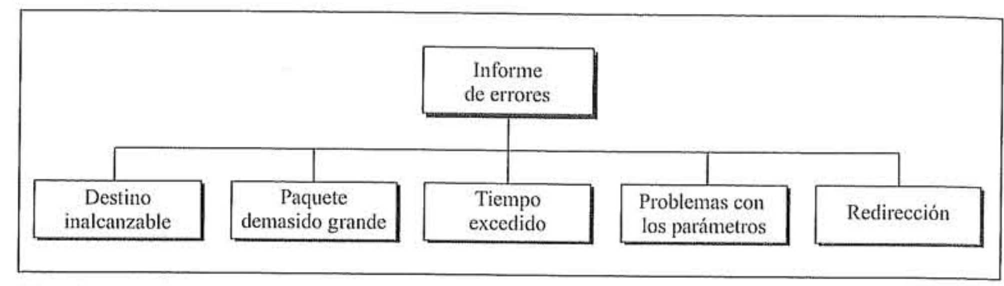


Figura H.14. *Tipos de mensajes de información de errores.*

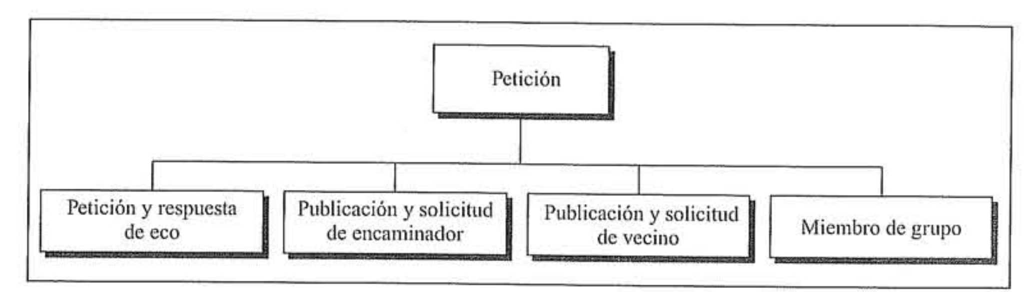


Figura H.15. *Tipos de mensajes de petición.*

APÉNDICE I

El árbol de expansión

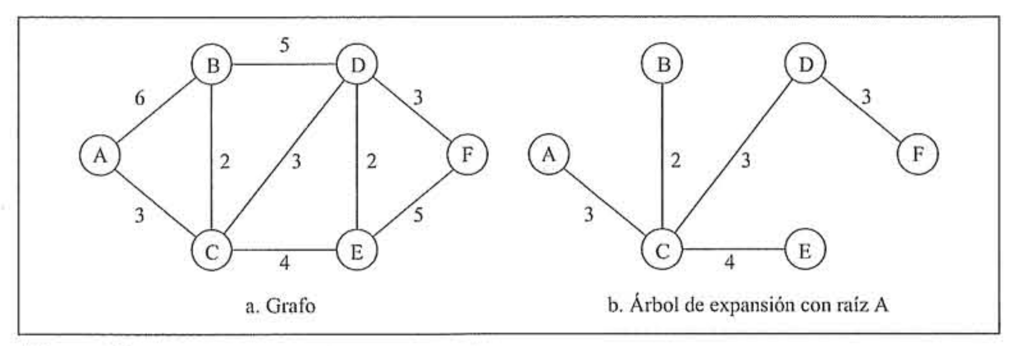


Figura I.1. *Un grafo y su árbol de expansión.*

El algoritmo del árbol de expansión se utiliza en estructuras de datos para crear un árbol a partir de un grafo. El árbol debería incluir todos los vértices (nodos), con un mínimo número de arcos (líneas) que conecten los vértices. Cualquier vértice se puede seleccionar como raíz del árbol de expansión. Incluso después de seleccionar una raíz concreta, se pueden tener varios árboles de expansión en función de qué subconjuntos de ramas se seleccionen para conectar los vértices a la raíz. Sin embargo, después de seleccionar la raíz, normalmente se está interesado en un árbol de expansión determinado, uno en el que cada vértice tenga el camino más corto a la raíz. El camino más corto se define como la suma de los pesos desde un vértice determinado a la raíz. Si el grafo no tiene pesos, cada arista tiene peso 1.

La Figura I.1 muestra un grafo con pesos y su árbol de expansión. Se ha elegido el nodo A como raíz.

I.1. ÁRBOL DE EXPANSIÓN Y PUENTES

En el Capítulo 21 se trataron los puentes y se mencionó que los puentes con aprendizaje pueden determinar a qué segmento de una LAN se encuentra conectada una estación. Para crear redundancia en caso de que un puente falle, los segmentos de la LAN se conectan normalmente a más de un puente. Sin embargo, la redundancia crea bucles en los que un paque-

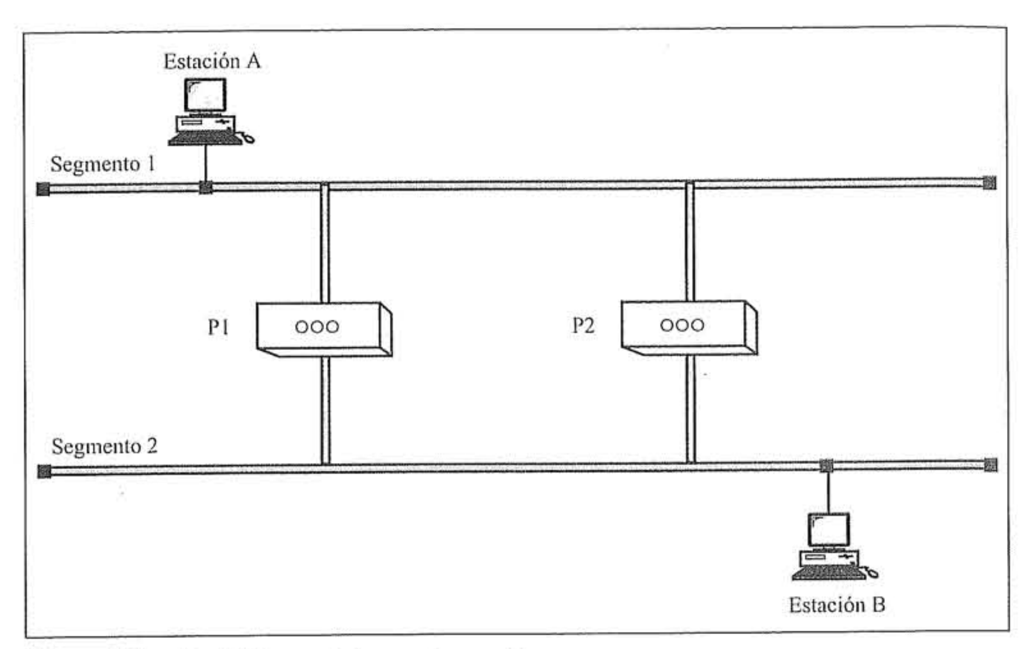


Figura I.2. *Dos LAN conectadas por dos puentes.*

te o varias copias de un paquete pueden ir de un puente a otro de forma indefinida. Vamos a mostrar un ejemplo muy sencillo. En la Figura I.2, dos segmentos de LAN se han conectado entre sí mediante dos puentes (P1 y P2).

Imagine que la estación B no ha enviado ningún paquete; por lo tanto, ningún puente sabe a qué segmento de red se encuentra conectada la estación B. Considere la siguiente secuencia de eventos:

1. La estación A envía un paquete a la estación B.
2. Uno de los puentes, por ejemplo P1, recibe el paquete primero y, sin saber donde está la estación B, reenvía el paquete al segmento 2.
3. El paquete llega a su destino (estación B), pero al mismo tiempo P2 recibe el paquete a través del segmento 2.
4. El paquete tiene como dirección origen la estación A; la dirección destino es la estación B. El puente P2 erróneamente asume que la estación A se encuentra conectada al segmento 2 y actualiza su tabla. Debido a que no tiene ninguna información sobre la estación B, el puente P2 reenvía el paquete al segmento 1.
5. El paquete es recibido la segunda vez por P1. P1 piensa que es un nuevo paquete de la estación A y, debido a que no tiene información sobre B, reenvía el paquete a la estación 2.
6. Ahora P2 recibe el paquete de nuevo y repite el ciclo de forma indefinida.

Esta situación ocurre debido a tres factores:

- Se utilizan puentes de aprendizaje que no tienen información sobre la localización de las estaciones hasta que reciben al menos un paquete de ellas.

- Los puentes no se preocupan de la existencia de otros puentes.
- Se ha creado un grafo en lugar de un árbol.

La situación se puede corregir si se crea un árbol de expansión a partir del grafo.

Algoritmo

Aunque la mayoría de los libros de estructuras de datos presentan el algoritmo para construir un árbol de expansión a partir de un grafo, ellos suponen que la topología del grafo ya se conoce. Sin embargo, cuando se instala un puente con aprendizaje, éste no conoce la localización de los otros puentes. El árbol de expansión, por tanto, debe construirse dinámicamente.

A cada arista se le asigna un número de identificación. Este número puede ser un número arbitrario determinado por el gestor de la red o la dirección de uno de los puertos, normalmente el más pequeño.

Cada puerto tiene asignado un coste. Normalmente, el coste se determina por la velocidad del puerto. Un puerto con una tasa de bits mayor tiene un menor coste. Si la tasa de bits no es relevante, entonces el coste del camino para cada puerto puede ser 1 (un salto).

El proceso para encontrar el árbol de expansión se puede resumir en tres pasos:

1. Los puentes eligen a un puente como *raíz* del árbol. Se asigna un identificador a cada puente y el puente con el identificador más pequeño se convierte en el puente raíz.
2. Cada puente determina su *puerto raíz*, el puerto que tiene el menor coste para llegar al puente raíz. El coste del camino para llegar al puente raíz es el coste acumulado del camino desde el puerto a la raíz.
3. Se elige un *puente designado* para cada segmento.

Todos los puentes regularmente intercambian una trama especial denominada *unidad de datos del protocolo de puentes* (BPDU, *Bridge Protocol Data Unit*). Cada BPDU contiene el identificador del puente origen, el coste del camino hacia la raíz acumulado, y alguna otra información. Cuando se inicializa una BPDU en un puente, el coste acumulado del camino a la raíz es cero.

Búsqueda del puente raíz

Cuando un puente recibe una BPDU, compara el identificador del puente origen con el suyo propio.

- Si su identificador es mayor que el identificador del puente origen, incrementa el coste del camino a la raíz con el coste del puerto receptor y reenvía la trama. También para de enviar sus propias tramas BPDU debido a que sabe que no será elegido como puente raíz (otro puente tiene el identificador más bajo).
- Si su identificador es más pequeño, el puente descarta la BPDU.

Es obvio que, pasado un tiempo, la única BPDU que ha estado circulando es la correspondiente al identificador de puente más pequeño, el puente raíz. De esta forma, cada puente sabe que es el puente raíz.

Búsqueda del puerto raíz

Una vez establecido el puente raíz, el puente registra el coste acumulado a la raíz acumulado para cada BDPU recibida por cada puerto. El puerto raíz es el puerto cuya BPDU tiene el mínimo coste acumulado. Observe que el puente raíz no tiene un puerto raíz.

Elección del puente designado

Una vez que se ha determinado el puerto raíz para cada puente, todos los puentes conectados al mismo segmento envían BPDU al resto. El puente que puede transmitir una trama del segmento a la raíz con el coste a la raíz más pequeño, se selecciona como puente designado y el puerto concreto que conecta el puente al segmento se denomina *puerto designado*. Observe que el puerto raíz no puede ser elegido como puerto designado. Observe, además, que un puente sólo puede tener un puerto raíz (excepto el puente raíz, que no tiene puerto raíz), pero puede tener más de un puerto designado.

Construcción del árbol de expansión

Una vez determinado el puente raíz, el puerto raíz para cada puente, y los puertos designados para cada puente, los puertos de un puente se dividen en dos grupos. Los *puertos de reenvío* son los puertos raíz y todos los puertos designados. El resto de los puertos se consideran como *puertos bloqueantes*. Cuando un puente recibe una trama de datos, la reenvía a través de los puertos de reenvío. No reenvía la trama a través de los puertos bloqueantes.

Ejemplo

La Figura I.3 muestra un ejemplo de cinco segmentos de LAN conectados por cinco puentes. Cada puente tiene un número que lo identifica (mostrado dentro de la caja). El coste asocia-

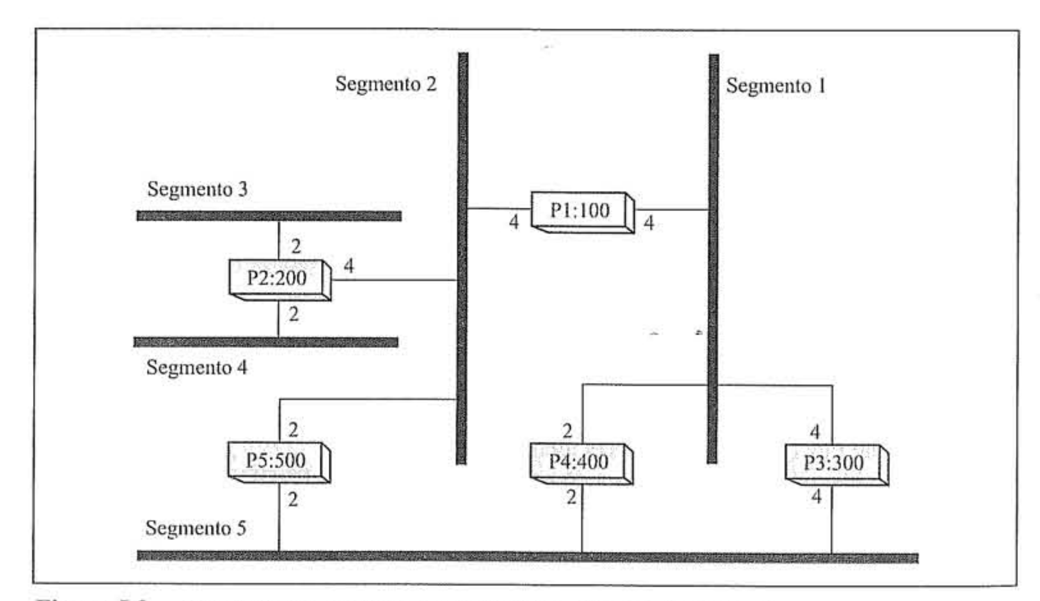


Figura I.3. *Una LAN antes de utilizar el algoritmo del árbol de expansión.*

Figura I.4. *La LAN después de utilizar el algoritmo del árbol de expansión.*

do al tratamiento del paquete se muestra en las líneas que conectan los puentes a los segmentos de la LAN.

La Figura 1.4 muestra la topología después de aplicar el algoritmo. El puente con el identificador más bajo (P1) se elige como puente raíz. Cada puente tiene un puerto raíz (que se muestra con una flecha). Debido a que hay cinco segmentos de LAN, se tienen cinco puertos designados (marcados como Des). Todos los puertos de los puentes P1, P2 y P4 son puertos de reenvío. Los puentes P3 y P5 tienen cada uno un puerto bloqueante.

Con esta configuración de LAN se puede asegurar que cada segmento recibirá una y solo una copia de una trama enviada por cualquier estación a cualquier segmento; esto garantiza una operación libre de bucles.

- Una trama enviada por una estación del segmento 1 alcanzará el segmento 2 a través del puente P1, alcanzará los segmentos 3 y 4 a través de los puentes P1 y P2, y alcanzará el segmento 5 a través del puente P4.
- Una trama enviada por una estación en el segmento 2 alcanzará el segmento 1 a través del puente P1, alcanzará el segmento 3 y el segmento 4 a través del puente P2 y alcanzará el segmento 5 a través de los puentes P1 y P4.
- Una trama enviada por una estación del segmento 3 alcanzará el segmento 4 y el segmento 2 a través de P2, alcanzará el segmento 1 a través de P2 y P1 y alcanzará el segmento 5 a través de P2-P3-P4.
- Una trama enviada por una estación del segmento 5 alcanzará el segmento 1 a través de P4, alcanzará el segmento 2 a través de P4-P1 y alcanzará el segmento 3 y el segmento 4 a través de P4-P1-P2.

I.2. ÁRBOLES DE EXPANSIÓN Y ENCAMINAMIENTO MULTIDESTINO

El concepto del árbol de expansión también se utiliza en el encaminamiento multidestino para producir un camino de reenvío libre de bucles para los datagramas del nivel IP. La idea es esencialmente la misma que la utilizada para los puentes. En este caso, los puentes se sustituyen por encaminadores y los segmentos de LAN se sustituyen por LAN o WAN. Los encaminadores eligen un encaminador raíz entre ellos. Cada encaminador, a continuación, busca su puerto raíz y finalmente a cada LAN o WAN se le asigna un encaminador designado. Los puertos de un encaminador se dividen en puertos de reenvío y de bloqueo. Cuando un encaminador recibe un datagrama multidestino, lo reenvía sólo a través de sus puertos de reenvío.

GLOSARIO

100Base-FX Versión del estándar IEEE 802.3 para Fast Ethernet que utiliza 2 fibras ópticas.
100Base-T Versión del estándar IEEE 802.3 para Fast Ethernet que utiliza cables de par trenzado.
100Base-T4 Versión del estándar IEEE 802.3 para Fast Ethernet que utiliza cuatro pares UTP.
100Base-TX Versión del estándar IEEE 802.3 para Fast Ethernet que utiliza dos UTP o STP.
10Base2 Estándar IEEE 802.3 para Ethernet que utiliza cable coaxial.
10Base5 Estándar IEEE 802.3 para la Ethernet que utiliza cable coaxial fino.
10Base-T Estándar IEEE 802.3 para la Ethernet de par trenzado.
1Base5 Estándar IEEE 802.3 para la Ethernet de baja tasa de datos, que utiliza cables de par trenzado y conexiones *encadenamiento en margarita*.
802 Véase *Proyecto 802 de IEEE*. Véase también *Proyecto 802*.
802.1 Véase *IEEE 802.1*
802.2 Véase *IEEE 802.2*
802.3 Véase *IEEE 802.3*
802.4 Véase *IEEE 802.4*
802.5 Véase *IEEE 802.5*

A

AAL1 Nivel AAL del protocolo ATM que procesa datos con velocidad constante.
AAL2 Nivel AAL del protocolo ATM que procesa datos con tasas de bits variable.
AAL3/4 Nivel AAL del protocolo ATM que procesa datos de paquetes orientados a conexión y no orientados a conexión.
AAL5 Nivel AAL del protocolo ATM que procesa datos con información de cabecera ampliada de los protocolos de nivel superior; también denominado nivel de adaptación sencillo y eficiente (SEAL).
abortar Terminación no esperada de un proceso.
acceso local Uso de un terminal conectado directamente a una computadora.
acceso múltiple (MA) Método de acceso a una línea en el que cada estación puede acceder a ella libremente.

acceso múltiple sensible a portadora (CSMA) Método de acceso en el que cada estación escucha la línea antes de transmitir datos.
acceso múltiple sensible a portadora con detección de colisiones (CSMA/CD) CSMA con retransmisión cuando se detecta una colisión.
acceso remoto Utilización de un terminal que no se encuentra conectado directamente a la computadora.
acondicionamiento Mejora de la calidad de una línea mediante la reducción de la atenuación y la distorsión.
acuerdo en tres fases Secuencia de eventos para el establecimiento o terminación de una conexión que consiste en una petición, una confirmación de la petición y una confirmación de la confirmación.
adaptador de terminal (TA) Dispositivo que convierte información de terminales no RDSI a un formato capaz de ser transportado por una red RDSI.
Agencia de proyectos de investigación avanzados (ARPA) Agencia del gobierno de los EE.UU. que financió ARPANET.
agencia reguladora Agencia del gobierno que protege el interés público.
agente Un encaminador o estación que ejecuta un programa servidor de SNMP.
agente de transferencia de correo (MTA) Un componente de un sistema de tratamiento de mensajes (MHS) que acepta un mensaje, lo examina y lo encamina.
agente de transferencia de mensajes (MTA) Un componente de un MHS que acepta un mensaje, lo examina y lo encamina.
agente de usuario (UA) Un componente SMTP que prepara el mensaje, crea el sobre y pone el mensaje en el sobre.
agente del sistema de directorios (DSA) Una parte del servicio de directorios que gestiona las peticiones DUA.
agente del usuario de directorios (DUA) Parte del servicio de directorios que se comunica con el usuario y pasa las peticiones del usuario al DSA.
algoritmo de Bellman-Ford Algoritmo utilizado para calcular las tablas de encaminamiento en el método basado en el vector distancia.
algoritmo de Dijkstra En encaminamiento basado en el estado del enlace, un algoritmo para encontrar el camino más corto a otros encaminadores.
algoritmo de encaminamiento Algoritmo utilizado por un encaminador para determinar el camino óptimo para un paquete.
algoritmo del árbol de expansión Algoritmo que evita bucles cuando dos LAN se conectan mediante más de un puente.
algoritmo del cubo con escape Algoritmo para hacer frente a tráfico con ráfagas.
almacén de archivos virtual Modelo independiente de la implementación para archivos y bases de datos que pueden ser utilizadas como una forma intermedia para el tratamiento de archivos.
alta frecuencia (HF) Ondas de radio en el rango de los 3 MHz a los 30 MHz que utiliza propagación por visión directa.
ampliaciones de correo electrónico multipropósito (MIME) Suplemento a SMTP que permite enviar datos no ASCII a través de SNMP.
amplitud Valor de una señal, normalmente se mide en voltios (tensión), amperios (corriente) o vatios (potencia).
análisis de Fourier Técnica matemática utilizada para obtener el espectro de frecuencias de una señal aperiódica a partir de su representación en el dominio del tiempo.

analógico Entidad que varía de forma continúa.
ancho de banda bajo demanda Servicio digital que permite a los abonados velocidades mayores mediante el uso de varias líneas.
ancho de banda del medio Diferencia entre las frecuencias más baja y más alta que un medio puede soportar.
ancho de banda Diferencia entre las frecuencias más alta y más baja de una señal compuesta. También mide la capacidad de transmisión de información de una línea o una red.
ángulo crítico En refracción, el valor del ángulo de incidencia que produce un ángulo de refracción de 90 grados.
ángulo de incidencia En óptica, el ángulo formado por un rayo de luz que cruza dos medios y la línea perpendicular a la superficie de contacto entre ellos.
ángulo de reflexión En óptica, el ángulo formado por un rayo de luz reflejado por la división entre dos medios y la línea perpendicular a la superficie de contacto entre ellos.
ángulo de refracción En óptica, el ángulo formado por un rayo de luz refractado cuando cruza dos medios y la línea perpendicular a la superficie de contacto entre ellos.
anillo con paso de testigo LAN que utiliza una topología en estrella y método de acceso basado en paso de testigo.
antena de cornete Antena con forma de embudo gigante utilizada en la comunicación de microondas terrestres.
antena parabólica Antena con forma de parábola utilizada para la comunicación con microondas terrestres.
applet Programa informático para crear un documento web activo. Normalmente se escribe en Java.
árbol de camino más corto Tabla de encaminamiento construida utilizado el algoritmo de Dijkstra.
archivo virtual Modelo de un archivo real creado por un elemento que responde.
ARQ adelante-atrás N Método de control de errores en el que se deben retransmitir la trama con error y todas las tramas siguientes.
ARQ de rechazo selectivo Método de control de errores en el que solo se envía la trama con errores.
ARQ en parada y espera Protocolo de control de errores que utiliza control de flujo basado en parada y espera.
ARQ en ventana deslizante Protocolo de control de errores que utiliza el concepto de ventana deslizante.
asignación de crédito Parte del campo de parámetros fijo de la TPDU; número de unidades de datos que se pueden enviar antes de que el emisor deba esperar una confirmación.
Asociación de grupos de expertos en fotografía (JPEG) Estándar para comprimir gráficos.
Asociación de industrias electrónicas (EIA) Organización que promueve aspectos relacionados con la fabricación de dispositivos electrónicos. Ha desarrollado estándares como el EIA-232, EIA-449 y el EIA-530.
atenuación Pérdida en la energía de una señal debido a la resistencia del medio.
autenticación Verificación del emisor de un mensaje.

B

baja frecuencia (LF) Ondas de radio situadas en el rango de los 30 KHz a los 300 KHz.
banda ancha Se refiere a una tecnología en la que la señal comparte el ancho de banda de un medio.

banda base Se refiere a una tecnología en la que la señal se transmite directamente a través de un canal sin modular una portadora.
banda de guarda Ancho de banda que separa dos señales.
base de datos de estados de enlaces En el encaminamiento basado en el estado del enlace, base de datos común para todos los encaminadores que se crean a partir de paquetes LSP.
base de información de directorio (DIB) Conjunto de entidades que configuran la base de datos del servicio de directorios del modelo OSI.
base de información de gestión (MIB) Base de datos utilizada por SNMP que almacena información necesaria para la gestión de una red.
Bellcore «Centro Investigación de Comunicaciones Bell». Véase *Telcordia.*
bipolar 3 de alta densidad (HDB3) Método de codificación digital a digital utilizado en Europa que ofrece sincronización para largas cadenas de 0.
bit Dígito binario; unidad más pequeña de información; 1 o 0.
bit de comienzo En transmisión asíncrona, un bit que indica el comienzo de la transmisión.
bit de delimitación de trama Bit utilizado para la sincronización en TDM síncrono.
bit de parada En transmisión asíncrona, uno o más bits que indican el fin de la transmisión.
bit de paridad Bit redundante que se añade a una unidad de datos (normalmente un carácter) para la comprobación de errores.
bit final (bit F) Un bit de control en HDLC enviado por la estación secundaria para indicar si están llegando o no más tramas. Véase *bit P/F.*
bit muestreo/final (P/F) Bit del campo de control de HDLC; si el primario está enviando, puede ser un bit de muestreo; si el secundario está enviando, puede ser un bit final.
bits por segundo (bps) Una medida de la velocidad de los datos; bits transmitidos por segundo.
bloqueo Un evento que ocurre cuando una red de conmutación está trabajando a su completa capacidad y no puede aceptar más entradas.
bucle local Enlace que conecta a un abonado con la central telefónica.
buffer Memoria utilizada como almacenamiento temporal.
bus con testigo LAN que utiliza una topología en bus y un método de acceso basado en paso de testigo.
bus dual de cola distribuida (DQDB) Un protocolo (IEEE 802.6) utilizado por SMDS.
bus dual Dos buses; en DQDB, un bus se utiliza para el flujo ascendente, el otro para la transmisión descendente.
bus TDM Conmutador por división en el tiempo en el que las líneas de entrada y salida se conectan a un bus de alta velocidad a través de microconmutadores.
byte Grupo de ocho bits.

C

cabecera Información de control que se añade al comienzo de un paquete de datos.
cabecera base En IPv6, la cabecera principal de un datagrama.
cabecera de ampliación Cabeceras adicionales en el datagrama IPv6 que ofrecen funcionalidad adicional.
cable coaxial Medio de transmisión que consta de un núcleo conductor, material aislante y una segunda malla conductora.
cable de fibra óptica Medio de transmisión de gran ancho de banda que transporta señales en formas de pulsos de luz. Consta de un cilindro estrecho de cristal o plástico, denominado núcleo, rodeado por un nivel concéntrico de cristal o plástico denominado cubierta.

cable de par trenzado Medio de transmisión de dos conductores aislados en una configuración trenzada.
cable MODEM Tecnología que utiliza un cable de TV para acceder a Internet.
cable transceptor En Ethernet, el cable que conecta la estación al transceptor. También se denomina interfaz de unidad de conexión.
caja P Circuito *hardware* utilizado para cifrar con una entrada y una salida.
caja S Dispositivo de cifrado compuesto de decodificadores, cajas P y codificadores.
calidad de servicio (QoS) En ATM, un conjunto de atributos relacionados con las prestaciones de una conexión.
camino Canal a través de cual se transmiten las señales.
camino de transmisión (TP) En ATM, la conexión física entre dos conmutadores.
camino virtual (VP) En ATM, conexión o conjunto de conexiones entre dos conmutadoras.
campo de control de acceso (AC) Campo de una trama de una red en anillo con paso de testigo que contiene los bits de prioridad, testigo, monitor y de reserva.
campo de dirección Un campo que contiene la dirección de un emisor o un receptor.
canal Un camino utilizado para las comunicaciones.
canal B Un tipo de canal RDSI con una velocidad de 64 Kbps; canal de usuario básico; también conocido como canal portador.
canal de calidad para voz Camino de comunicación adecuado para la transmisión de voz.
canal de datos (canal D) Un canal RDSI utilizado fundamentalmente para transportar señales de control. También se puede utilizar para transferir datos de baja velocidad.
canal híbrido (canal H) En RDSI, un canal híbrido disponible con diversas velocidades; adecuado para aplicaciones que requieren altas velocidades.
canal portador Un tipo de canal RDSI con una velocidad de 64 Kbps; el canal básico de usuario. Véase *canal B.*
capacidad de Shannon Tasa de datos teórica más alta de un canal.
carácter de control Carácter en BSC que contiene información acerca de la transmisión.
carga Envío de un archivo local o datos a un archivo remoto.
cauce digital Camino de alta velocidad compuesta de canales multiplexados en el tiempo.
celda Unidad de datos pequeña de tamaño fijo; también, en telefonía celular, un área geográfica servida por una central de celdas.
central de conmutación de telefonía móvil (MTSO) Central que controla y coordina la comunicación entre todas las celdas y la central de control telefónico.
centralita telefónica privada (PBX) Sistema de conmutación para líneas telefónicas o extensiones que permite el acceso a una red telefónica pública.
ciclo Unidad repetitiva de una señal periódica.
cifra de Vignere Esquema de sustitución polialfabético que utiliza la posición de un carácter en el texto nativo y la posición del carácter en el alfabeto.
cifrado Conversión de un mensaje en una forma ininteligible que no se puede leer a no ser que se descifre.
cifrado a nivel de bit Método de cifrado convencional en el que los datos se dividen en bloques de bits antes de su cifrado.
cifrado a nivel de carácter Un método de cifrado convencional en el que el carácter es la unidad de cifrado.
cifrado convencional Método de cifrado en que el algoritmo de cifrado y descifrado utilizan la misma clave, que se mantiene secreta.

cifrado de clave pública Un método de cifrado basado en un algoritmo no reversible. El método utiliza dos tipos de claves: la clave pública, que es conocida de forma pública; la clave privada (clave secreta), que es conocida solo por el receptor.
cifrado monoalfabético Método de cifrado por sustitución en el que cada ocurrencia de un carácter se sustituye por otro carácter del conjunto.
cifrado polialfabético Método de cifrado por sustitución en el que cada carácter analizado puede tener un sustituto diferente.
cifrado por transposición Método de cifrado a nivel de caracteres en el que se cambian las posiciones de los caracteres.
cifrado Rivest, Shamir, Adleman (RSA) Véase *cifrado RSA.*
cifrado RSA Método de cifrado de clave pública desarrollado por Rivest, Shamir y Adleman.
circuito virtual (VC) Circuito lógico entre la computadora emisora y la receptora. La conexión se establece una vez que las dos computadoras la acuerdan. Después de la conexión, todos los paquetes siguen la misma ruta y llegan en secuencia.
circuito virtual conmutado (SVC) Método de transmisión basada en circuitos virtuales en la que el circuito virtual se crea y sólo existe durante el intercambio de información.
circuito virtual permanente (PVC) Un método de transmisión basado en circuitos virtuales en el que un mismo circuito virtual se utiliza entre el origen y el destino de forma continua.
clase de dirección Categoría de una dirección en IPv4.
clase de dirección IP En IPv4, uno de los cinco grupos de direcciones: las clases A, B y C constan de un identificador de red, un identificador de estación y un identificador de clase; la clase D se utiliza para direcciones de multienvío; la clase E se reserva para uso futuro.
clase de transporte Una de las cinco categorías utilizadas por los niveles superiores; la selección de la clase es dependiente del tipo de servicio requerido.
clave privada En cifrado convencional, una clave compartida sólo por un par de dispositivos, un emisor y un receptor.
clave pública En el cifrado de clave pública, la clave conocida por todos.
cliente Programa que inicia la comunicación con otro programa denominado servidor.
cliente LANE (LEC) *Software* cliente que recibe peticiones para un servicio LAN; parte de una LANE.
codificación Transformación de la información en señales.
codificación autosincronizante Método de codificación que ofrece sincronización para largas cadenas de unos o ceros.
codificación bipolar Un método de codificación bipolar en el que una amplitud 0 representa un 0 binario y amplitudes positivas y negativas representan 1 alternativos.
codificación diferencial Manchester Método de codificación digital a digital que se caracteriza por una transición en la mitad de la duración del bit así como la inversión al comienzo de cada bit.
codificación digital a digital Representación de información digital mediante una señal digital.
codificación Huffman Método de compresión estadístico que utiliza códigos de longitud variable para codificar un conjunto de símbolos.
codificación Lempel-Ziv-Welch (LZW) Método de compresión basado en cadenas que utiliza punteros para las cadenas repetidas.
codificación Manchester Método de codificación polar digital a digital en el que la transición ocurre en la mitad de la duración de un bit para la sincronización.
codificación polar Método de codificación digital a analógico que utiliza dos niveles (positivo y negativo) de amplitud.

codificación por desplazamiento de fase (PSK) Método de modulación analógico a analógico en el que la fase de la señal portadora se varía para representar un patrón específico de bits.
codificación por desplazamiento de frecuencia (FSK) Codificación digital a analógica en el que la frecuencia de la señal portadora se varía para representar un 0 o un 1 binario.
codificación por desplazamiento diferencial de fase (DPSK) Método de codificación digital a digital en el que el patrón de bits define el cambio de fase en lugar de la fase actual.
codificación por desplazamiento en amplitud (ASK) Método de modulación en el que la amplitud de la señal portadora se varía para representar el 0 o el 1 binario.
codificación por longitud de ráfaga Método de compresión en el que una ráfaga de símbolos iguales se sustituye por el símbolo seguido por el número de ellos en la ráfaga.
codificación pseudoternaria Variación del AMI bipolar, en que un 0 binario se alterna entre tensiones positivas y negativas.
codificación unipolar Método de codificación digital a digital en la que un valor distinto de cero representa o un uno o un cero; el otro bit se representa por un valor cero.
código Organización de símbolos que representa una palabra o una acción.
código estándar americano para el intercambio de información (ASCII) Código de caracteres desarrollado por ANSI y usado ampliamente para la comunicación de datos.
código Morse Método de compresión estadístico que utiliza dos combinaciones de longitud diferente para codificar los datos.
códigos Hamming Método que añade bits redundantes a la unidad de datos para detectar y corregir errores en bits.
cola Información de control añadida a una unidad de datos.
cola Una lista de espera.
colisión Evento que ocurre cuando dos transmisores emiten al mismo tiempo a través de un canal diseñado para una única transmisión a la vez; los datos serán destruidos.
Comisión de comunicaciones federal (FCC) Agencia del gobierno de los EE.UU. que regula la radio, televisión y las telecomunicaciones.
comité de creación de estándares Grupo que produce un modelo en el que todo el mundo está de acuerdo.
complemento a dos Representación de números binarios en el que el complemento de un número se calcula complementando todos los bits y sumando 1.
complemento a uno Representación de números binarios en la que se obtiene complementando todos los bits del número original.
componente DC Véase *corriente continua.*
compresión Reducción de un mensaje sin pérdida significativa de la información.
compresión de datos con pérdida Compresión de datos en la que se pierden algunos datos originales.
compresión de datos Reducción de la cantidad de datos a transmitir sin pérdida significativa de información.
compresión de datos sin pérdida Compresión de datos en la que no se pierden datos.
compresión estadística Método de compresión sin pérdida que utiliza códigos cortos para los símbolos frecuentes y código largos para los símbolos infrecuentes.
compresión relativa Método de compresión que emite sólo la diferencia entre tramas sucesivas.
comprobación de paridad Método de detección de errores que utiliza un bit de paridad.
comprobación de redundancia cíclico (CRC) Método de detección de errores altamente preciso basado en la interpretación de un patrón de bits como un polinomio.

comunicación de datos Intercambio de información entre dos o más entidades.
comunicación inalámbrica Transmisión de datos que utiliza un medio no guiado.
comunicación síncrona binaria (BSC) Protocolo muy popular para enlace de datos orientado a caracteres muy popular.
concatenación Combinación de dos o más unidades de datos que vienen del nivel de sesión para formar un segmento en el nivel de transporte.
concentrador Dispositivo central en una topología en estrella que ofrece conexión entre los nodos.
concentrador activo Concentrador que repite o regenera una señal. Funciona como un repetidor.
concentrador de conexión dual (DAC) En FFDI, un dispositivo que conecta una combinación de SAS o DAS al anillo dual. Hace que la combinación parezca como una única unidad SAS.
concentrador pasivo Concentrador utilizado sólo para conexión; no regenera la señal.
conector de interfaz con el medio (MIC) Tipo de tarjeta interfaz utilizada en FDDI.
conexión punto a punto Transmisión dedicada entre dos dispositivos.
configuración balanceada En el protocolo DIC, una configuración en la que dos estaciones son de tipo combinado.
configuración de línea multiconexión Una alternativa a la configuración de línea multipunto.
configuración de línea multipunto Configuración de línea en la que tres o más dispositivos comparten una línea de transmisión.
configuración de línea Relación entre dispositivos de comunicación y sus caminos.
configuración no balanceada Configuración HDLC en la que un dispositivo es el primario y los otros secundarios.
configuración simétrica Configuración en la que cada estación física del enlace consta de dos estaciones lógicas, una primaria y una secundaria.
confirmación (ACK) Una respuesta enviada por el receptor para indicar el éxito de la recepción y la aceptación de los datos.
congestión Red con excesivo tráfico que provoca la degradación general del servicio.
conjunto de protocolos TCP/IP Grupo de protocolos jerárquicos utilizados en Internet.
conmutación de circuitos Tecnología de conmutación que establece una conexión eléctrica entre estaciones que utilizan un camino dedicado.
conmutación de mensajes Método de conmutación en el que el mensaje completo es almacenado en un conmutador y reenviado cuando haya una ruta disponible.
conmutación de paquetes basada en datagramas Método de transmisión de datos en el que cada unidad de datos es independiente de las otras.
conmutación de paquetes basada en circuitos virtuales Método de conmutación de paquetes en la que todos los paquetes de un mensaje o sesión siguen exactamente la misma ruta.
conmutación de paquetes Transmisión de datos que utiliza una red de conmutación de paquetes.
conmutación por división en el espacio Conmutación en la que los caminos son distintos.
conmutación por división en el tiempo Técnica de conmutación de circuitos en el que se utiliza multiplexación por división en el tiempo para realizar la conmutación.
conmutado/56 Conexión digital temporal de 56 Kbps entre dos usuarios.
conmutador Dispositivo que conecta varias líneas de comunicación.
conmutador con almacenamiento y reenvío Conmutador que almacena la trama en un buffer de entrada hasta que el paquete se recibe por completo.

conmutador de Banyan Conmutador multietapa con microconmutadores en cada etapa que encaminan las celdas a su puerto de salida.
conmutador de Banyan-Batcher Conmutador de banyan mejorado en el que un conmutador (situado antes del banyan) ordena las celdas de acuerdo a su destino.
conmutador de barras cruzadas Un conmutador que consta de una malla de caminos horizontales y verticales. En la intersección de cada camino horizontal y vertical hay un punto de cruce que puede conectar una entrada con una salida.
conmutador de encaminamiento Conmutador que combina las funciones de un puente y de un encaminador que utiliza la dirección de nivel de red del destino.
conmutador de envío directo Conmutador que reenvía un paquete a un buffer de salida tan pronto como se recibe la dirección de destino.
conmutador eliminatorio Conmutador de barras cruzadas mejorado en el que los distribuidores y las colas dirigen las celdas a la salida para evitar las colisiones.
conmutador multietapa Conjunto de conmutadores diseñados para reducir el número de puntos de cruce.
constelación Representación gráfica de la fase y amplitud de combinaciones de bits diferentes en modulación combinada digital y analógica.
contador de comprobación de bloque (BCC) Uno o dos caracteres utilizados para detección de errores al final de una trama BSC.
contador de saltos Número de nodos a lo largo de una ruta. Es una medida de la distancia en los algoritmos de encaminamiento.
contención Método de acceso en el que dos o más dispositivos intentan transmitir al mismo tiempo sobre el mismo canal.
control de acceso al medio (MAC) Subnivel inferior en el nivel de enlace de datos definido por el Proyecto IEEE 802. Define el método de acceso y el control de acceso en diferentes protocolos de redes de área local.
control de congestión Método para gestionar el tráfico de una red o red interconectadas para mejorar el rendimiento.
control de duplicación Función del nivel de transporte que asegura que no se reciben unidades de datos duplicadas en el receptor.
control de enlace de datos de alto nivel (HDLC) Protocolo de enlace de datos orientado a bit definido por ISO. Se utiliza en el protocolo X.25. Un subconjunto, denominado procedimiento de acceso al enlace (LAP), se utiliza en otros protocolos. Es también una base para muchos protocolos de control de enlace de datos utilizados en LAN.
control de enlace de datos síncrono (SDLC) Precursor de HDLC, introducido por IBM.
control de enlace lógico (LLC) Subnivel superior del nivel de enlace de datos definido por el Proyecto IEEE 802.
control de errores Detección y tratamiento de errores en la transmisión de datos.
control de flujo Técnica para controlar la tasa de flujo de las tramas (paquetes o mensajes).
control de pérdidas Función del nivel de transporte que asegura que todas las unidades de datos de una transmisión llegan al destino.
control de secuencia Función del nivel de transporte que se asegura del ensamblado correcto de las unidades de datos de un mensaje.
control de tráfico Método para controlar el tráfico en una red de área amplia.
conversión analógica a digital Representación de información analógica por una señal digital
corrección de errores Proceso que corrige los bits que se han cambiado durante la transmisión.

correo electrónico (*e-mail*) Método de envío de mensajes electrónicos que se basa en direcciones de buzones en lugar de un intercambio directo estación a estación.
corriente continua (DC) Señal con frecuencia cero y una amplitud constante.
cubierta Cristal o plástico que rodea el núcleo de una fibra óptica; su densidad óptica debe ser menor o igual que la del núcleo.
cheapnet Véase 10Base2
chepernet Véase 10Base2

D

datagrama de usuario Nombre del paquete en el protocolo UDP.
datagrama En conmutación de paquetes, una unidad de datos independiente.
datagrama IP La unidad de datos del protocolo entre redes.
datos a ráfagas Datos con tasas de transmisión que varían.
datos analógicos Datos continuos que no se encuentran limitados a un número concreto de valores.
datos digitales Datos representados por valores o condiciones discretas.
datos transparentes Datos que pueden contener patrones de bits de control sin ser interpretados como control.
datos urgentes En TCP/IP, datos que se deben entregar al programa de aplicación tan rápidamente como sea posible.
DB-15 Una implementación de X.21 que especifica un conector de 15 patillas.
DB-25 Una implementación EIA-232 que especifica un conector de 25 patillas.
DB-37 Una implementación EIA-449 que especifica un conector de 37 patillas.
DB-9 Una implementación EIA-232 o EIA-449, cada una de las cuales especifica un conector de 9 patillas.
decibelio (dB) Medida de la energía relativa entre dos puntos de una señal.
decodificación Proceso de recuperación de un mensaje codificado a su forma precodificada.
delimitador En HDLC, un campo que indica al receptor el comienzo o el final de una trama.
delimitador de trama de comienzo (SFD) Campo de un bit de la trama IEEE 802.3 que señala el comienzo de un flujo de bits (no preámbulo).
demodulación Proceso de separación de la señal portadora de la señal de información.
demodulador Dispositivo que realiza la demodulación.
demultiplexor (DEMUX) Dispositivo que divide una señal multiplexada en sus componentes originales.
descarga Recuperación de un archivo o datos desde un sitio remoto.
descifrado Recuperación del mensaje original a partir de datos cifrados.
descubrimiento de ruta Tarea de búsqueda de la ruta óptima que debe tomar una unidad de datos.
desplazamiento de fase Cambio de fase de una señal.
detección de errores Proceso que determina si algunos bits se han cambiado durante la transmisión.
diafonía Ruido de una línea provocado por las señales que transitan por otras líneas.
diagrama frecuencia-dominio Representación gráfica de las componentes de frecuencia de una señal.
diálogo Intercambio entre dos dispositivos que se comunican.

diálogo Proceso para establecer o terminar una conexión.
dibit Unidad de datos que consta de dos bits.
digital Entidad discreta o no continua.
diodo de emisión de luz (LED) Emisor de luz para fibra óptica; normalmente limitada a distancias cortas.
dirección de destino (DA) Dirección del receptor de la unidad de datos.
dirección de multienvío Dirección utilizada para el multienvío.
dirección de puerto En el protocolo TCP/IP un entero que identifica un proceso.
dirección de subred Dirección de red de una subred.
dirección física Dirección de un dispositivo utilizado en el nivel de enlace de datos (dirección MAC).
dirección Internet Direcciones de 32 o 128 bits utilizadas en el nivel de red para definir de forma única a una estación en una internet que utiliza el protocolo TCP/IP.
dirección IP Véase *dirección Internet*.
dirección lógica Dirección definida en el nivel de red.
dirección MAC Véase *dirección física*.
dirección origen (SA) Dirección del emisor de un mensaje.
disciplina de línea Procedimiento del nivel de enlace de datos que define qué dispositivo tiene el derecho para enviar datos; también se conoce como control de acceso.
dispositivos de interconexión Dispositivos electrónicos como encaminadores y pasarelas que conectan y agrupan redes para formar una internet.
distorsión Cualquier cambio en una señal como consecuencia del ruido, atenuación u otras influencias.
documento activo En World Wide Web, un documento ejecutado por un equipo que utiliza Java.
documento dinámico Documento web creado por la ejecución de un programa CGI en el sitio servidor.
documento estático En la web, un documento con contenido fijo que se crea y se almacena en un servidor.
dominio de país Un subdominio en el sistema de nombres de dominio que utiliza dos caracteres como sufijo final para identificar el país.
dominio genérico Subdominio en el sistema de nombres de dominio (DNS) que utiliza sufijos genéricos.
dominio inverso Subdominio en DNS que busca un nombre de dominio a partir de una dirección IP.

E

EIA-232 Estándar de 25 patillas desarrollado por la EIA.
EIA-449 Estándar de interfaz que especifica un conector de 37 patillas y un conector de 9 patillas desarrollado por la EIA.
EIA-530 Interfaz estándar basada en el EIA-449 que utiliza DB-25.
elegibilidad de descarte (DE) Un bit que define si un paquete se puede descartar en caso de existir congestión en la red.
elemento de información Campo en un paquete RDSI con detalles específicos sobre la conexión.
elemento de servicio común de gestión de información (CMISE) Servicio específico ofrecido por CMIS.

e-mail Véase *correo electrónico*.
emisor Sistema que origina un mensaje.
emulación de red de área local (LANE) *Software* que permite a un conmutador ATM funcionar como un conmutador de una LAN.
encaminador Dispositivo de interconexión que funciona en los tres primeros niveles del modelo OSI. Un encaminador se conecta a dos o más redes y reenvía los paquetes de una red a otra.
encaminador multiprotocolo Encaminador que gestiona paquetes de diferentes protocolos.
encaminamiento Proceso realizado por un encaminador.
encaminamiento basado en el estado del enlace Método de encaminamiento en el que cada encaminador comparte su conocimiento de los cambios con sus vecinos con todos los encaminadores.
encaminamiento basado en el vector distancia Método de encaminamiento en el que cada encaminador envía a sus vecinos una lista de las redes que puede alcanzar y las distancias a esas redes.
encaminamiento de mínimo coste Estrategia de encaminamiento basada en lograr el mínimo de alguna característica.
encaminamiento desde el origen Definición explícita de la ruta de un paquete por parte del emisor.
encaminamiento estático Tipo de encaminamiento en el que la tabla de encaminamiento no se cambia.
encapsulado Técnica en la que la unidad de datos de un protocolo se sitúa dentro de la porción del campo de datos de la unidad de datos de otro protocolo.
enlace Camino de comunicación físico que transfiere datos de un dispositivo a otro.
enlace ascendente Transmisión desde una estación de tierra a un satélite.
enlace descendente Transmisión de un satélite a una estación situada en tierra.
enmascaramiento Proceso que extrae la dirección de la red física a partir de una dirección IP.
ensamblador/desensamblador de paquetes (PAD) Dispositivo que conecta un terminal orientado a caracteres a una red X.25.
ensamblador/desensamblador en Frame Relay (FRAD) Dispositivo utilizado en Frame Relay para gestionar las tramas que vienen de otros protocolos.
entrega de mensajes extremo a extremo Entrega de todas las partes de un mensaje desde el emisor al receptor.
entrega fiable Recepción de un mensaje sin duplicados, pérdidas o con paquetes fuera de secuencia.
entrega nodo a nodo Transferencia de una unidad de datos desde un nodo al siguiente.
entrega origen a destino Transmisión de un mensaje desde el emisor hasta el receptor.
entrelazado Obtener una cantidad específica de datos de varios dispositivos en un orden regular.
equipo terminal de datos (DTE) Dispositivo que es origen o destino de la información. Se conecta a través de un DCE.
equipo terminal de tipo 1 (TE1) Terminal estándar RDSI.
equipo terminal de tipo 2 (TE2) Terminal no RDSI.
equipo terminal del circuito de datos (DCE) Dispositivo utilizado como interfaz entre un DTE y una red.

error Daño producido en la transmisión de datos.
error en ráfagas Errores en una unidad de datos en la que se alteran dos o más bits.
error en un único bit Error en una unidad de datos que solo afecta a un bit.
espectro Rango de frecuencias de una señal.
espectro electromagnético Rango de las frecuencias ocupadas por distintas señales electromagnéticas.
establecimiento de conexión Etapa preliminar necesaria para una conexión lógica antes de transferir datos.
estación Nodo o computadora de una red.
estación combinada En el protocolo HDLC, una estación que puede funcionar como estación primaria o secundaria al mismo tiempo.
estación de asignación dual (DAS) En FDDI, una estación que se puede conectar a dos anillos.
estación de asignación única (SAS) En FDDI, una estación que se puede conectar solo a un anillo.
estación monitor En el protocolo basado en anillo con paso de testigo, una estación responsable de generar y controlar el testigo.
estación primaria En el método de acceso primario-secundario, una estación que envía órdenes a las estaciones secundarias.
estación secundaria En el método de acceso basado en muestreo/selección, una estación que envía una respuesta a una orden enviada por una estación primaria.
estado de autenticación En PPP, un estado opcional que verifica la identidad del receptor.
estado de establecimiento En PPP, un estado en el que comienza y se negocian opciones de la comunicación.
estado de red Un estado del protocolo PPP en el que se transmiten los paquetes de datos de usuario y los paquetes para control.
estado de terminación Un estado en PPP en el que varios paquetes se intercambian entre los dos extremos para liberar y cerrar el enlace.
estado inactivo En PPP, estado en el que el enlace se encuentra inactivo.
estados de transición Fases diferentes a través de las que pasa una conexión PPP.
estándar Base o modelo en el que todo el mundo se ha puesto de acuerdo.
estándar de cifrado de datos (DES) Estándar de cifrado del gobierno de los EE.UU. para uso no militar y desclasificado.
estándar de facto Estándar que no ha sido aprobado por una organización, pero que ha sido adoptado como un estándar a través de su amplio uso.
estándar de jure Estándar que ha sido legislado por una organización oficial.
estándar RS-422 Especificación de un circuito balanceado utilizado por EIA-449 para definir los parámetros eléctricos.
estándar RS-423 Especificación de un circuito no balanceado utilizado por EIA-449 para definir parámetros eléctricos.
estructura de información de gestión (SMI) En SNMP, un componente utilizado en la gestión de red.
Ethernet conmutada Ethernet en la que un conmutador, que reemplaza a un concentrador, puede encaminar una transmisión al destino.
Ethernet de cable fino Véase *10Base2*.
Ethernet de cable grueso Véase *10Base5*.
Ethernet de par trenzado Ethernet que utiliza cables de par trenzado; 10Base-T.

Ethernet Red de área local que utiliza el método de acceso CSMA/CD. Véase IEEE.802.3.

F

fase Posición relativa en el tiempo de una señal.
fase/amplitud sin portadora (CAP) Técnica de modulación similar a QAM, pero sin señal portadora.
Fast Ethernet Véase *100Base-T.*
fibra monomodo Fibra óptica con un diámetro extremadamente pequeño que limita los rayos a unos pocos ángulos, resultando en un rayo casi horizontal.
fibra multimodo de índice escalonado Fibra óptica con un núcleo que tiene un índice uniforme de refracción. El índice de refracción cambia de repente entre el núcleo y la cubierta.
fibra multimodo de índice gradual Fibra óptica con un núcleo que tiene un índice graduado de refracción.
fibra óptica Véase *cable de fibra óptica.*
fin de transmisión (EOT) Trama enviada para finalizar la comunicación entre dos dispositivos.
firma digital Método para autenticar al emisor de un mensaje.
foro Organización que evalúa y estandariza una nueva tecnología.
fragmentación División de un paquete en unidades más pequeñas para acomodar las MTU de un protocolo.
Frame Relay Especificación de conmutación de paquetes definida por los dos primeros niveles del modelo OSI. No hay nivel de red. La corrección de errores se realiza extremo a extremo en lugar de realizarla en cada enlace.
frecuencia extremadamente alta (EHF) Ondas de radio en el rango de los 30 GHz a los 300 GHz que utiliza propagación en el espacio.
frecuencia media (MF) Ondas de radio entre los 300 KHz y los 3 MHz.
frecuencia muy alta (VHF) Ondas de radio en el rango de los 30 MHz a los 300 MHz que utiliza propagación por visión directa.
frecuencia muy baja (VLF) Ondas de radio en el rango de los 3 KHz a los 30 KHz que utiliza propagación en superficie.
frecuencia Número de ciclos por segundo de una señal periódica.
frecuencia superalta (SHF) Ondas de radio en el rango de los 3 GHz a los 30 GHz que utilizan propagación por visión directa y propagación en el espacio.
frecuencia ultraalta (UHF) Ondas de radio en el rango de los 300 MHz a los 3 GHz que utiliza propagación por visión directa.

G

gestión, acceso y transferencia de archivos (FTAM) En el modelo OSI, un servicio de nivel de aplicación para el tratamiento de archivos remotos.
gestor Estación que ejecuta un programa cliente de SNMP.
gigabit Ethernet Tecnología Ethernet que utiliza una velocidad de 1 Gbps.
gigahercio (GHz) 10^9 hercios.
gráfico tiempo-dominio Representación gráfica de la amplitud de una señal frente al tiempo.
Grupo de expertos en imágenes en movimiento (MPEG) Método para comprimir vídeo.
grupo Jumbo Señal analógica creada mediante la multiplexación de grupos principales.

grupo maestro Señal analógica creada por la multiplexación de 10 supergrupos.
grupo Señal analógica creada por 12 canales de voz multiplexados juntos.

H

harmónicos Componentes de una señal digital, cada una con diferente amplitud, frecuencia y fase.
Hercio (Hz) Unidad utilizada para medir la frecuencia.

I

I.430 Estándar de la ITU-T para las especificaciones del nivel físico BRI.
I.431 Estándar de la ITU-T para las especificaciones del nivel físico PRI.
identificador de camino virtual (VPI) Campo en la cabecera de una celda ATM que identifica un camino.
identificador de camino virtual/identificador de canal virtual (VPI/VCI) Dos campos utilizados juntos para encaminar una celda ATM.
identificador de circuito virtual (VCI) Campo de una cabecera de la celda de ATM que define un canal.
identificador de conexión de enlace de datos (DLCI) Número que identifica el circuito virtual en Frame Relay.
identificador de equipo terminal (TEI) Un campo LAPD que identifica el equipo terminal.
identificador de estación Parte de una dirección IP que identifica a una estación.
identificador de formato general (GFI) Campo del paquete PLP que define el origen de la información de control, el dispositivo que confirma y el tamaño de los bits del número de secuencia.
identificador de punto de acceso al servicio (SAPI) En RDSI, un tipo de dirección que identifica al usuario de un protocolo.
identificador de red Parte de una dirección IP que identifica la red.
identificador de tipo de paquete (PTI) Campo del paquete PLP que define el tipo de paquete.
IEEE 802.1 Estándar desarrollado por el Proyecto IEEE 802 para redes de área local. Cubre los aspectos de interconexión de LAN.
IEEE 802.2 Estándar desarrollado por el Proyecto IEEE 802 para redes de área local. Cubre el subnivel LLC.
IEEE 802.3 Estándar desarrollado por el Proyecto IEEE 802 para redes de área local. Cubre el subnivel MAC para redes que utilizan el método de acceso CSMA/CD y ofrecen una definición formal para Ethernet.
IEEE 802.4 Estándar desarrollado por el Proyecto IEEE 802 para redes de área local. Cubre el subnivel MAC para redes que utilizan una topología en bus y método de acceso basado en paso de testigo, y ofrece una definición formal para el bus basado en paso de testigo.
IEEE 802.5 Estándar desarrollado por el Proyecto IEEE 802 para redes de área local. Cubre el subnivel MAC para redes que utilizan una topología en anillo y método de acceso basado en paso de testigo. Ofrece una definición formal para una red en anillo con paso de testigo.
IEEE 802.6 Estándar desarrollado por el Proyecto IEEE 802 para el bus dual de cola distribuida.
incorporación de confirmación Inclusión de confirmación en una trama de datos.
información de gestión local (LMI) Protocolo utilizado en Frame Relay para proporcionar características de gestión.

inicio de sesión local Véase *acceso local.*
inicio de sesión remoto Proceso de inicio de sesión en una computadora remota desde de un terminal conectado a una computadora local.
inserción de bits (*bits stuffing*) En HDLC, la incorporación de un 0 extra para evitar que el receptor interprete datos como un delimitador. En TDM síncrono, una técnica que añade bits para sincronización.
Instituto americano de estándares nacionales (ANSI) Organización de estándares que define los estándares en EE.UU.
Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos (IEEE) Grupo formado por ingenieros profesionales que tiene sociedades especializadas cuyos comités preparan estándares en las áreas de la especialidad de los miembros.
intercambio de ranuras temporales (TSI) Conmutación por división en el tiempo que se realiza con una RAM y una unidad de control.
interconexión de redes Conexión de varias redes utilizando dispositivos de interconexión como encaminadores o pasarelas.
interconexión de redes Otro término para una internet.
interconexión de sistemas abiertos (OSI) Un modelo de siete niveles para la comunicación de datos definido por ISO.
interfaz Límite entre dos equipos. También se refiere a las características mecánicas, eléctricas y funcionales de la conexión.
interfaz con velocidad básica (BRI) En RDSI, una interfaz eléctrica que proporciona dos canales B (64 Kbps) y un canal D (16 Kbps). La tasa de datos total es de 192 Kbps, que incluye alguna sobrecarga.
interfaz con velocidad primaria (PRI) Una interfaz eléctrica en RDSI que ofrece 23 canales B (64 Kpbs) y un canal D (64 Kbps). La velocidad total es de 1,544 Mbps, que incluye alguna sobrecarga.
interfaz de fibra para datos distribuidos (FDDI) LAN de alta velocidad (100 Mbps), definida por ANSI, que utiliza fibra óptica, topología de anillo dual y método de acceso basado en paso de testigo. Actualmente también se utilizan como una MAN.
interfaz de pasarela común (CGI) Estándar para la comunicación entre servidores HTTP y programas ejecutables. CGI se utiliza para crear documentos dinámicos.
interfaz de unidad de conexión (AUI) Cable 10Base5 que realiza las funciones de la interfaz física entre la estación y el transceptor.
interfaz R Véase *punto de referencia R.*
interfaz red a red (NNI) Una interfaz entre dos redes de área amplia o entre dos conmutadores dentro de una red de área amplia.
interfaz S Véase *punto de referencia S.*
interfaz T Véase *punto de referencia T.*
interfaz U Véase *punto de referencia U.*
interfaz usuario a red (UNI) En ATM, la interfaz entre un punto final (usuario) y un conmutador ATM.
interferencia electromagnética (EMI) Ruido en la línea de transmisión de datos que puede corromper los datos. Se puede deber a motores, generadores y otros elementos similares.
internet Conjunto de redes conectadas por dispositivos de interconexión como encaminadores o pasarelas.
Internet Internet global que utiliza el conjunto de protocolos TCP/IP.
intervalo de bit Tiempo requerido para enviar un bit.

inundación Saturación de una red con un mensaje.
inversión de marca alternada (AMI) Método de codificación bipolar digital a digital en la que la amplitud que representa 1 se alterna entre tensiones positivas y negativas.
ionosfera Nivel de la atmósfera situado entre la troposfera y el espacio.
IPng (IP de siguiente generación) Véase *IPv6.*
IPv4 Protocolo entre redes en su versión 4. Es la versión actual.
IPv6 Protocolo entre redes en su versión 6. Un protocolo entre redes propuesto que se caracteriza por cambios en las direcciones IP.

J

Java Lenguaje de programación utilizado para crear documentos web activos.
jerarquía analógica Un sistema telefónico en el que las señales multiplexadas se combinan en grupos más grandes para una transmisión más eficiente.
jerarquía digital síncrona (SDH) Equivalente de la ITU-T a SONET.

K

Kbps Kilobits por segundo.
Kermit Protocolo asíncrono utilizado ampliamente.
kilohercio (KHz) 1000 hercios.

L

LAN en estrella LAN que utiliza una topología en estrella con una velocidad de 1 Mbps y en la que las estaciones se pueden conectar en encadenamiento en margarita.
láser Acrónimo de *Light Amplification by Stimulated Emissions of Radiation* (Amplitud de luz por medio de emisiones estimuladas de radiación). Rayo de luz puro y estrecho que se pede utilizar como la fuente de luz en la transmisión utilizando fibra óptica.
lenguaje de marcado de hipertexto (HTML) Lenguaje informático para especificar el contenido y el formato de un documento web. Permite incluir códigos que definen las fuentes, la distribución, gráficos y enlaces de hipertexto.
línea de abonado digital (DSL) Tecnología que utiliza las redes de telecomunicaciones existentes para conseguir la entrega a alta velocidad de datos, voz, vídeo y datos multimedia.
línea de abonado digital asimétrica (ADSL) Tecnología basada en DSL que utiliza codificación 2B1Q para reducir los efectos de la atenuación.
línea de abonado digital asimétrica (ADSL) Tecnología basada en DSL similar a HDSL, pero que utiliza sólo un único par de cables trenzados.
línea de abonado digital asimétrica (ADSL) Tecnología de comunicación en la que la tasa de datos descendente es mayor que la ascendente.
línea de abonado digital asimétrica con velocidad adaptativa (RADSL) Una tecnología basada en DSL que se caracteriza por tasas de datos que dependen del tipo de comunicación.
línea de abonado digital con muy alta tasa de bits (VDSL) Tecnología basada en DSL para distancias cortas.
línea T Jerarquía de línea digitales diseñadas para transportar voz y otras señales en forma digital. La jerarquía define las líneas T-1, T-2, T-3 y T-4.
línea T fraccionada Línea T compartida por varios usuarios.
línea T-1 Línea de transmisión digital de 1,544 Mbps.
línea T-2 Línea de transmisión digital de 6,312 Mbps.
línea T-3 Línea de transmisión digital de 44,736 Mbps.

línea T-4 Línea de transmisión digital de 274,176 Mbps.
líneas E Equivalente europeo de las líneas T.
localizador uniforme de recursos (IRL) Cadena de caracteres (dirección) que identifica una página en la web.
longitud de onda Velocidad de propagación de una señal dividida por su frecuencia.
luz infrarroja Ondas electromagnéticas con frecuencias por debajo del espectro visible.

M

marcado por tonos Método de marcado telefónico en el que cada tecla se representa por dos pequeñas ráfagas de señales analógicas.
Mbps Megabits por segundo.
medio Camino físico por el que viajan los datos.
medio de transmisión Camino físico que enlaza dos dispositivos de comunicación.
medio guiado Medio de transmisión con un límite físico.
medio no guiado Medio de transmisión sin límites físicos.
megahercio (MHz) Un millón de hercios.
mensaje Datos enviados desde un origen a un destino.
microondas Ondas electromagnéticas situadas entre los 2 GHZ y los 40 GHZ.
microondas terrestres Transmisión de microondas entre antenas.
microsegundo (μs) Una millonésima de segundo (10^{-6}s).
milisegundo (ms) Una milésima de segundo (10^{-3}s).
modelo cliente servidor Modelo de interacción entre dos aplicaciones en la que un programa (cliente) solicita un servicio de otro programa (servidor).
módem Dispositivo para modular y demodular. Convierte una señal digital en una señal analógica (modulación) y viceversa (demodulación).
módem Bell Módem fabricado por la compañía de teléfonos Bell.
módem compatible Hayes Módem inteligente con más funciones aparte de la modulación y la demodulación.
módem de 56KB Tecnología módem que utiliza dos tasas de datos diferentes: una para carga y otra para descarga de Internet.
módem inteligente Módem que tiene funciones adicionales, tales como la respuesta automática y el marcado.
módem nulo Una especificación de interfaz para transferir datos entre dos DTE compatibles cercanos.
modo de transferencia asíncrono (ATM) Protocolo de red de área amplia que se caracteriza por altas tasas de datos y paquetes de igual tamaño (celdas). ATM es adecuado para transferir texto, sonido y vídeo.
modo balanceado asíncrono (ABM) En HDLC, un modo de comunicación en el que todas las estaciones son iguales.
modo de respuesta asíncrono (ARM) Modo de comunicación entre un dispositivo primario y otro secundario en el que al secundario se le permite iniciar la transmisión.
modo de respuesta normal (NRM) En HDLC, un modo de comunicación en el que la estación secundaria debe obtener permiso de la estación primaria antes de poder transmitir.
modo dúplex Véase modo *full-dúplex*.
modo full-dúplex Modo de transmisión bidireccional.
modo semidúplex Modo de transmisión en el que la comunicación puede ser bidireccional, pero no al mismo tiempo.

modo simplex Modo de transmisión en el que la comunicación se realiza de forma unidireccional.
modulación Modificación de una o más características de una onda portadora por una señal de información.
modulación analógica a analógica Representación de información analógica mediante una señal analógica.
modulación codificada trellix Técnica de modulación que incluye corrección de errores.
modulación digital a analógico Representación de la información digital mediante una señal analógica.
modulación en amplitud (AM) Método de conversión analógico a analógico en el que la amplitud de la señal portadora varía con la amplitud de la señal que modula.
modulación en fase (PM) Método de modulación analógico a analógico en el que la fase de la señal portadora varía con la amplitud de la señal que se modula.
modulación en frecuencia (FM) Modulación analógica a analógica en la que la frecuencia de la señal portadora varía con la amplitud de la señal que modula.
modulación por amplitud de fase (PAM) Técnica en la que se muestrea una señal analógica; el resultado es una serie de pulsos basados en los datos muestreados.
modulación por amplitud en cuadratura (QAM) Método de modulación digital a analógico en el que la fase y la amplitud de la señal portadora varía con la señal que modula.
modulación por codificación de pulsos (PCM) Técnica que modifica los pulsos PAM para crear una señal digital.
modulador Dispositivo que convierte una señal digital en una señal analógica adecuada para su transmisión a través de una línea telefónica.
módulo de transporte síncrono (STM) Una señal en la jerarquía SDH.
muestreo Proceso de obtención de amplitudes de una señal en intervalos regulares.
multienvío Método de transmisión que permite que varias copias de un mismo paquete sean enviadas a un grupo seleccionado de receptores.
multienvío transmisión de un mensaje a todos los nodos de una red.
multiplexación asíncrona por división en el tiempo Multiplexación por división en el tiempo en el que el tiempo de enlace se asigna de forma dinámica de acuerdo a la actividad de los enlaces.
multiplexación estadística por división en el tiempo Véase *TDM asíncrona*.
multiplexación hacia abajo Técnica del nivel de transporte que divide una única conexión en varios caminos diferentes para mejorar el rendimiento.
multiplexación hacia arriba Función del nivel de transporte en la que varias transmisiones para el mismo destino se envían por el mismo camino multiplexándolas.
multiplexación inversa Obtener datos de una fuente y dividirlos en porciones que se pueden enviar a través de líneas de menor velocidad.
multiplexación por división de onda (WDM) Combinación de señales de luz moduladas en una señal.
multiplexación por división en el tiempo (TDM) Técnica que combina señales que vienen de canales de baja velocidad para compartir el tiempo en un camino de alta velocidad.
multiplexación por división en el tiempo síncrona Técnica de multiplexación en la que cada trama contiene al menos una ranura temporal para cada dispositivo.
multiplexación por división en frecuencia (FDM) Combinación de señales analógicas en una única señal.

multiplexor (MUX) Proceso que combina señales de varias fuentes para su transmisión a través de un único enlace de datos.
multiplexor de inyección/extracción Dispositivo SONET que multiplexa las señales de diferentes fuentes o demultiplexa una señal de varios destinos.

N

nanosegundo (ns) 10^{-9} segundos.
navegador Programa de aplicación que visualiza un documento web. Normalmente utiliza otros servicios de Internet para acceder a los documentos.
nivel Uno de los siete niveles involucrados en la transmisión de datos en el modelo OSI; cada nivel es una agrupación funcional de actividades relacionadas.
nivel de adaptación de aplicación (AAL) Nivel del protocolo ATM que divide los datos de los usuarios en cargas de 48 bytes.
nivel de aplicación El séptimo nivel del modelo OSI; ofrece acceso a los recursos de red.
nivel de enlace de datos Segundo nivel del modelo OSI. Es responsable de la entrega nodo a nodo.
nivel de línea Nivel de SONET responsable de la transferencia de una señal a través de una línea física.
nivel de presentación Sexto nivel del modelo OSI, responsable de la traducción, cifrado, autenticación y compresión de datos.
nivel de red Tercer nivel del modelo OSI, responsable de la entrega de un paquete al destino final.
nivel de red Un nivel de SONET responsable de la transferencia de una señal desde una fuente óptica hasta un destino óptico.
nivel de sección Un nivel de SONET responsable de la transferencia de una señal a través de una sección física.
nivel de sesión Quinto nivel del modelo OSI, responsable del establecimiento, gestión y terminación de las conexiones lógicas entre dos usuarios.
nivel de transporte El cuarto nivel del modelo OSI; responsable de la entrega fiable extremo a extremo y de la recuperación de errores.
nivel físico Primer nivel del modelo OSI, responsable de las especificaciones eléctricas y mecánicas del medio.
nivel fotónico Nivel de SONET que se corresponde con el nivel físico del modelo OSI.
nodo Un dispositivo de comunicación direccionable (por ejemplo, una computadora o un encaminador) en una red.
notación de sintaxis abstracta 1 (ASN.1) Lenguaje formal que utiliza una sintaxis abstracta para definir la estructura de una unidad de datos de protocolo (PDU).
notación decimal-punto Notación utilizada para que las direcciones IP sean más sencillas de leer; cada byte se convierte a su equivalente decimal y se separa de sus vecinos por un punto.
notación hexadecimal dos puntos En IPv6, una notación de dirección que consta de 32 dígitos hexadecimales, separados cada cuatro dígitos por dos puntos.
notificación de congestión explícita hacia delante (BECN) Un bit en un paquete Frame Relay que notifica al emisor de la existencia de congestión.
notificación de congestión explícito hacia delante (FECN) Un bit en el paquete Frame Relay que notifica al destino de la existencia de congestión.
número con signo Representación de números binarios que incluye el signo (más o menos). Los números con signo se suelen representar utilizando tres formatos diferentes: signo-magnitud, complemento a uno y complemento a dos.

número de canal lógico (LCN) Identificador de circuito virtual en X.25.
número de secuencia Número que denota la posición de una trama o paquete en un mensaje.
número sin signo Representación de números binarios sin signo (más o menos).

O

octeto Una unidad de ocho bits.
onda de radio Energía electromagnética en el rango de los 3 KHz a los 300 GHz.
onda seno Representación de la amplitud frente al tiempo de un vector que rota.
OR exclusivo Técnica de cifrado a nivel de bit que utiliza el operador OR exclusivo.
órbita geosíncrona Órbita que permite a un satélite permanecer fijo sobre un punto de la Tierra.
Organización de estándares internacional (ISO) Organización mundial que define y desarrolla estándares sobre varios temas.

P

página principal Documento de hipertexto que es la página inicial de entrada de una persona o de una organización.
página web Unidad de hipertexto o hipermedia disponible en la Web.
paquete Sinónimo de unidad de datos; utilizado mayoritariamente en el nivel de red.
paquete de estado de enlace (LSP) En el encaminamiento basado en el estado del enlace, un pequeño paquete que contiene información de encaminamiento enviada por un encaminador al resto de encaminadores.
par de cable trenzado blindado (STP) Par de cable trenzado encerrado en una malla blindada que protege contra las interferencias electromagnéticas.
par trenzado sin blindaje (UTP) Cable con hilos que se trenzan para reducir el ruido. Véase *cable de par trenzado* y *par trenzado blindado*.
parada y espera Método de control de flujo en el que cada unidad de datos debe ser confirmada antes de que se pueda enviar la siguiente.
paridad impar Método de detección de errores en el que se añade un bit extra a la unidad de datos de forma que el número total de unos sea impar.
paridad par Método de detección de errores en el que se añade un bit extra a la unidad de datos de forma que la suma de todos los unos es par.
pasarela Dispositivo utilizado para conectar dos redes diferentes que utilizan protocolos de comunicación diferentes.
pasarela de correo Un MTA que puede recibir tanto correo SMTP como correo que no sigue el formato SMTP.
paso de testigo Método de acceso en el que se hace circular un testigo por la red. La estación que captura el testigo puede enviar datos.
periodo Intervalo de tiempo requerido para completar un ciclo completo.
permutación comprimida Técnica de cifrado a nivel de bit en la que se cambian posiciones de bits y se pierden algunos bits.
permutación expandida Permutación a nivel de bit en el que los bits de salida son más que los bits de entrada.
petición de conexión Mensaje enviado para establecer una conexión.
petición de repetición automático (ARQ) Método de control de errores en el que la corrección es realizada mediante la retransmisión de los datos.

petición/reconocimiento (ENQ/ACK) Método de disciplina de línea utilizado en conexiones punto a punto. Una trama ENQ es transmitida por una estación que desea enviar datos; la trama ACK es devuelta si la estación está lista para recibir datos.
picosegundo 10^{-12} segundos.
plano de control En RDSI, un conjunto de niveles que definen las funciones del canal D.
plano de gestión En RDSI, un conjunto de niveles que abarca el plano de control y de usuario y que se utiliza para gestionar la red completa.
plano de usuario En RDSI, un conjunto de niveles que definen la funcionalidad del canal B.
portadora común Medio de transmisión disponible al público y sujeto a la regulación de utilidad pública.
portadora óptica (OC) Jerarquía de las portadoras de fibra óptica definida en SONET. La jerarquía define hasta 10 portadoras diferentes (OC-1, OC-3, OC-12,..., OC-192), cada una con una tasa de datos diferente.
ppp Protocolo punto a punto
preámbulo Campo de siete bytes de una trama IEEE 802.3 que consta de 1 y 0 alternativos que alertan y sincronizan al receptor.
prestaciones Número de bits que pasan por un punto en un segundo.
prevención de congestión En Frama Relay, un método que utiliza dos bits que notifican explícitamente al origen y al destino de la congestión.
procedimiento de acceso al enlace (LAP) Protocolo de datos orientado a bits derivado de HDLC.
procedimiento de acceso al enlace para el canal B (LAPB) Protocolo LAP definido para el canal B en RDSI.
procedimiento de acceso al enlace para el canal D (LAPD) Protocolo LAP definido para el canal D en RDSI.
procedimiento de acceso al enlace para módems (LAPM) Protocolo LAP definido para módems.
procedimiento de acceso al enlace, balanceado (LAPB) Un protocolo LAP en el que las estaciones pueden funcionar sólo en modo balanceado.
procesamiento distribuido Estrategia en la que los servicios ofrecidos por la red residen en varios sitios.
producto Método de cifrado a nivel de bits que utiliza una combinación de cajas P y cajas S.
propagación en el espacio Tipo de propagación que puede penetrar la ionosfera.
propagación ionosférica Transmisión en la que las ondas de radio alcanzan la ionosfera y luego se reflejan de nuevo hacia la Tierra.
propagación por visión directa Transmisión de señales de muy alta frecuencia en línea recta directamente desde una antena a otra antena.
propagación troposférica Transmisión con propagación por visión directa de una antena a otra antena o de la Tierra a la troposfera y de la troposfera a la Tierra.
protocolo Reglas para la comunicación.
protocolo asíncrono Conjunto de reglas para la transmisión asíncrona.
protocolo común de gestión de información (CMIP) Protocolo para implementar los servicios de gestión de OSI.
protocolo de arranque (BOOTP) Protocolo que proporciona información de configuración a partir de una tabla (archivo).

protocolo de autenticación por contraseña (PAP) Protocolo de autenticación sencillo de dos etapas utilizado en PPP.
protocolo de autenticación por desafío (CHAP) En PPP, un protocolo de desafío en tres fases utilizado para la autenticación.
protocolo de configuración dinámica de estación (DHCP) Ampliación del protocolo BOOTP que asigna dinámicamente la información de configuración.
protocolo de control de enlace (LCP) Protocolo PPP responsable del establecimiento, mantenimiento, configuración y terminación de enlaces.
protocolo de control de mensajes de internet (ICMP) Protocolo de TCP/IP que trata mensajes de control y de errores.
protocolo de control de red (NCP) En PPP, un conjunto de protocolos de control que permiten el encapsulado de datos proporcionados por los protocolos de nivel de red.
protocolo de control de transmisión (TCP) Protocolo de transporte del conjunto de protocolos TCP/IP.
protocolo de control de transmisión/ protocolo entre redes (TCP/IP) Conjunto de protocolos de cinco niveles que define el intercambio de transmisiones en Internet.
protocolo de control del protocolo entre redes (IPCP) En PPP, el conjunto de protocolos que establecen y terminan la conexión de nivel de red para paquetes IP.
protocolo de datagramas de usuario (UDP) Protocolo de nivel de transporte de TCP/IP no orientado a conexión.
protocolo de información de encaminamiento (RIP) Protocolo de encaminamiento que utiliza el algoritmo de encaminamiento basado en el vector distancia.
protocolo de interfaz SMDS (SIP) Protocolo de tres niveles que gobierna el acceso a SMDS.
protocolo de mensajes de grupos de internet (IGMP) Protocolo en TCP/IP que gestiona el multienvío.
protocolo de nivel de paquetes (PLP) El nivel de red del protocolo X.25.
protocolo de oficina de correos (POP) Protocolo cliente-servidor que se utiliza entre una estación de trabajo de un usuario y un servidor de correo electrónico.
protocolo de resolución de direcciones (ARP) En TCP/IP, un protocolo para obtener la dirección física de un nodo a partir de la dirección Internet.
protocolo de resolución inversa de direcciones (RARP) Protocolo TCP/IP que permite a una estación buscar su dirección Internet a partir de su dirección física.
protocolo de transferencia de archivos (FTP) En TCP/IP, un protocolo de nivel de aplicación que transfiere archivos entre dos sitios.
protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP) Servicio de aplicación para recuperar un documento web.
protocolo entre entidades paritarias Protocolo que define las reglas de comunicaciones entre dos niveles iguales del modelo OSI.
protocolo entre redes (IP) Protocolo de nivel de red en el protocolo TCP/IP que gobierna la transmisión sin conexión a través de redes de conmutación de paquetes.
protocolo entre redes Véase *Protocolo de interconexión de redes*.
protocolo internet de línea serie (SLIP) Protocolo que prepara un datagrama IP para su transmisión por una línea serie.
protocolo orientado a bits Protocolo en el que una trama se envía como un flujo de bits.
protocolo orientado a byte Véase *protocolo orientado a caracteres*.
protocolo orientado a caracteres Protocolo en el que la trama o paquete se interpreta como una serie de caracteres.

protocolo primario-secundario Protocolo que define las reglas de comunicación, en el que un dispositivo (primario) controla el tráfico.
protocolo punto a punto (PPP) Protocolo para transferir datos entre dos dispositivos.
protocolo sencillo de gestión de red (SNMP) Protocolo TCP/IP que especifica el proceso de gestión en Internet.
protocolo sencillo de transferencia de correo (SMTP) Protocolo TCP/IP que define el servicio de correo electrónico en Internet.
protocolo trivial de transferencia de archivos (TFTP) Protocolo TCP/IP no fiable para la transferencia de archivos que no requiere interacciones complejas entre el cliente y el servidor.
protocolos triple X Protocolos X.3, X.28 y X.29 que se utilizan para conectar un terminal tonto a una red X.25.
Proyecto 802 Proyecto desarrollado por IEEE como intento de solucionar las incompatibilidades de las LAN. Véase también *Proyecto IEEE 802.*
Proyecto IEEE 802 Proyecto de IEEE para definir estándares LAN para los niveles físico y de enlace de datos del modelo OSI. Divide el nivel de enlace de datos en dos subniveles denominados control de enlace lógico y control de acceso al medio.
puente Un dispositivo de red que funciona en los dos primeros niveles del modelo OSI con filtrado y capacidad de reenvío.
puente de aprendizaje Puente que construye su tabla con las direcciones de las estaciones.
puente/encaminador (*brouter*) Dispositivo que funciona como un puente y como un encaminador.
puente multipuerto Puente que conecta más de dos LAN.
puente sencillo Dispositivo de interconexión que enlaza dos segmentos; requiere mantenimiento y actualización manual.
puente transparente Otra denominación de puente de aprendizaje.
punto de acceso al servicio (SAP) Tipo de dirección que identifica al usuario de un protocolo.
punto de cruce Unión de una entrada con una salida en un conmutador de barras cruzadas.
punto de referencia R En RDSI, la interfaz entre un terminador TE2 y un TA.
punto de referencia T En RDSI, interfaz entre un terminador NT1 y un terminador NT2.
punto de referencia U En RDSI, la interfaz entre un terminador NT1 y el resto de la red.
punto de sincronización principal Punto de sincronización que debe ser confirmado antes de continuar con la sesión.
punto de sincronización secundario Punto de sincronización que puede o no ser confirmado antes de continuar con una sesión.
puntos de sincronización Puntos de referencia introducidos en los datos por el nivel de sesión para el control de flujo y de errores.

Q

Q.931 Estándar de la ITU-T que define las funciones del nivel de red de la RDSI relacionadas con el canal D.
quadbit Unidad de datos que consta de cuatro bits.

R

ranura Un intervalo de tiempo espacio para datos.

RDSI de banda ancha (RDSI-BA) RDSI con una tasa de datos mayor.
receptor Punto destino de una transmisión.
reconocimiento negativo (NAK) Mensaje enviado para indicar el rechazo de los datos recibidos.
recuperación de errores Capacidad de un sistema para volver a la actividad normal después de detectar errores.
red Sistema que consta de nodos conectados que comparten datos, *hardware* y *software*.
red analógica Red que utiliza señales analógicas.
red basada en celdas Red que utiliza las celdas con unidad de datos básica.
red de área amplia (WAN) Red que utiliza una tecnología que puede abarcar una distancia geográfica grande.
red de área local (LAN) Red que conecta dispositivos situados en un mismo edificio o en edificios cercanos entre sí.
red de área metropolitana (MAN) Red que puede abarcar el área geográfica de una ciudad.
red de conmutación de paquetes Red en la que los datos se transmitan en unidades independientes denominadas paquetes.
red de la agencia de proyectos de investigación avanzados (ARPANET) Red de conmutación de paquetes que fue financiada por ARPA.
red digital Red que transmite señales digitales.
red digital de servicios integrados (RDSI) Estándar de la ITU-T para un sistema de comunicación digital global extremo a extremo que ofrece servicios digitales integrados.
red digital integrada (RDI) Integración de funciones de comunicación que utilizan tecnología digital en una red de telecomunicaciones.
red óptica síncrona (SONET) Estándar desarrollado por ANSI para la tecnología de fibra óptica que puede transmitir datos a altas velocidades. Se puede utilizar para entregar datos, sonido y vídeo.
red telefónica pública conmutada (PSTN) Red telefónica de conmutación de circuitos utilizada actualmente.
redirección Un tipo de mensaje ICMP que informa al emisor de la ruta preferida.
redundancia Bits añadidos a un mensaje para el control de errores.
reflexión Fenómeno que se produce al rebotar un rayo de luz cuando llega a la superficie que separa dos medios.
refracción Fenómeno por el que la luz se desvía cuando pasa de un medio a otro.
regenerador Dispositivo que regenera una señal original a partir de una señal defectuosa. Véase también *repetidor*.
regla de codificación básica (BER) Un estándar que codifica los datos a transferir a través de una red.
repetidor Dispositivo que amplía la distancia que una señal puede viajar mediante la regeneración de la misma.
retardo en la transferencia de celdas (CTD) En ATM, tiempo medio necesario para que una celda llegue de un emisor a un destino.
retorno a cero (RZ) Técnica de codificación digital a digital en la que la tensión de la señal es cero en la segunda mitad del intervalo del bit.
retransmisión de celdas Tecnología de comunicación que utiliza unidades de datos de tamaño fijo como paquetes; utilizado por ATM.
RS-232 Véase *EIA-232*.

ruido Señal electrónica aleatoria que puede afectar a un medio de transmisión y dar lugar a la degradación o distorsión de los datos.
ruta Un camino recorrido por un paquete.

S

secuencia de comprobación de trama (FCS) Campo de detección de errores en HDLC que contiene dos o cuatro bytes CRC.
segmentación División de un mensaje en varios paquetes; normalmente realizado en el nivel de transporte.
segmentación y reensamblado (SAR) El subnivel AAL más bajo en el protocolo ATM en el que la cabecera y/o la cola se pueden añadir para producir un elemento de 48 bytes.
segmento Paquete en el nivel TCP.
seguridad Protección de una red de accesos no autorizados, virus y catástrofes.
seleccionar En el método de muestreo/selección, un procedimiento en el que la estación primaria pregunta a una estación secundaria si está lista para recibir datos.
semántica Significado o interpretación de un conjunto de bits.
señal Ondas electromagnéticas propagadas a través de un medio de transmisión.
señal analógica Forma de onda continua que cambia ligeramente con el tiempo.
señal aperiódica Señal que no exhibe un patrón o repetición cíclica.
señal compuesta Señal compuesta por más de una señal seno.
señal de transporte síncrona (STS) Una señal en la jerarquía SONET.
señal digital Señal discreta con un número limitado de valores.
señal periódica Señal que exhibe un patrón repetitivo.
señal portadora Señal de alta frecuencia utilizada para modulación digital a analógica o analógica a analógica. Una de las características de la señal portadora (amplitud, frecuencia o fase) se modifica de acuerdo a los datos que se modulan.
señalización en banda Método de señalización en el que los datos de usuario y de control comparten el mismo canal.
señalización fuera de banda Método de señalización en el que los datos de control y los de usuario se transfieren por canales diferentes.
series de Fourier Técnica matemática que reduce una señal periódica compuesta en una serie de señales seno sencillas.
series V Estándares de la UTI-T que definen la transmisión de datos sobre líneas telefónicas.
servicio alquilado analógico Un servicio que utiliza una línea dedicada entre dos usuarios.
servicio analógico Servicio telefónico que utiliza transmisión analógica.
servicio común de gestión de información (CMIS) Servicio de gestión OSI.
servicio conmutado analógico Conexión analógica temporal entre dos usuarios.
servicio de directorios (DS) Servicio que puede proporcionar la dirección de correo electrónico de un individuo.
servicio de red orientado a conexión (CONS) Protocolo de datos de nivel de red con reglas formales para el establecimiento y terminación de una conexión.
servicio de red sin conexión (CLNS) Protocolo de nivel de red sin reglas formales para el establecimiento o terminación de la conexión.
servicio de transporte orientado a conexión (COTS) Protocolo de nivel de transporte con establecimiento y terminación formal de una conexión.

servicio de transporte sin conexión (CLTS) Protocolo de transferencia de datos del nivel de transporte sin establecimiento ni terminación formal de una conexión.
servicio digital de datos (DDS) Versión digital de una línea alquilada analógica con una velocidad de 64 Kbps.
servicio orientado a conexión Servicio de transferencia de datos que involucra el establecimiento y terminación de una conexión.
servicio sin conexión Servicio para transferir datos sin establecimiento ni terminación de la conexión.
servicios de datos multimegabit conmutados (SMDS) Protocolo de gestión de comunicaciones de alta velocidad para MAN.
servicios distributivos En RDSI-BA, servicios unidireccionales enviados de un proveedor a los abonados de forma automática.
servicios interactivos En RDSI-BA, servicios que requieren intercambios bidireccionales.
servicios portadores En RDSI, un servicio que no manipula el contenido de la transmisión.
servicios suplementarios Servicios RDSI que ofrecen funciones adicionales a los servicios portadores y a los teleservicios.
servidor Programa que ofrece servicios a otros programas denominados clientes.
servidor de multienvío desconocido (BUS) Servidor conectado a un conmutador ATM que puede multienviar o difundir tramas.
servidor LANE (LES) *Software* servidor que crea un circuito virtual entre el origen y el destino; parte de una LANE.
sin retorno a cero (NRZ) Método de codificación polar digital a digital en el que el nivel de la señal siempre es positivo o negativo.
sin retorno a cero, invertido (NRZ-I) Un método de codificación NRZ en el que el nivel de la señal se invierte cada vez que se encuentra un 1.
sin retorno al nivel cero (NRZ-L) Un método de codificación NRZ en el que el nivel de la señal está directamente relacionado con el valor del bit.
sintaxis Estructura o formato de los datos.
sistema abierto Modelo que permite a dos sistemas comunicarse a pesar de sus diferentes arquitecturas.
sistema de nombres de dominio (DNS) Servicio de aplicación TCP/IP que convierte nombres de usuario a direcciones IP.
sistema de numeración binario Método para representar información que utiliza sólo dos símbolos (0 y 1).
sistema de numeración decimal Método de representación de los números que utiliza 10 símbolos (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9).
sistema de numeración hexadecimal Método para representar información que utiliza 16 símbolos (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E y F).
sistema de numeración octal Método para representar información que utiliza ocho símbolos (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7).
sistema de transferencia de mensajes (MTS) Grupo de agentes de transferencia de mensajes (MTA).
sistema de tratamiento de mensajes (MHS) Protocolo OSI en el que se basa en correo electrónico.
sobrecarga Bits extra añadidos a la unidad de datos para su control.
sobrecarga de camino Información de control utilizada por el nivel de camino de SONET.
sobrecarga de línea Información de control utilizada por el nivel de línea en SONET.

sobrecarga de sección Información de control utilizada por el nivel de sección de SONET.
Sociedad Internet (ISOC) Organización sin ánimo de lucro establecida para anunciar Internet.
sondeo En el método de acceso primario/secundario, procedimiento en el que la estación primaria sondea a la estación secundaria si tiene datos que transmitir.
sondeo/selección Método de acceso que utiliza procedimiento de sondeo y selección. Véase *muestreo*. Véase *selección*.
subnivel de convergencia En el protocolo ATM, el subnivel superior de AAL que añade una cabecera o una cola a los datos del usuario.
subred Parte de una red.
suma de comprobación Campo utilizado para detección de errores. Se forma sumando los flujos de bits utilizando aritmética de complemento a uno y luego complementando el resultado.
supergrupo Señal compuesta de cinco grupos multiplexados.
sustitución 8-cero bipolar (B8ZS) Método de codificación bipolar digital a digital utilizado en Norteamérica para proporcionar sincronización de largas cadenas de ceros.
sustitución Método de cifrado a nivel de bit en el que se sustituyen *n* bits por otros *n* mediante cajas P, codificadores y decodificadores.

T

tabla de encaminamiento Tabla que contiene la información que necesita un encaminador para encaminar los paquetes. La información puede incluir la dirección de red, el coste, la dirección del siguiente salto, etc.
tamaño de la ráfaga comprometido (Bc) Número máximo de bits en un periodo de tiempo determinado que una red Frame Relay debe transferir sin descartar ninguna trama.
tamaño de la ráfaga en exceso (Be) En Frame Relay, el número máximo de bits que exceden a Bc, que el usuario puede enviar durante un periodo de tiempo predefinido.
tarjeta de interfaz de red (NIC) Dispositivo electrónico, interno o externo a la estación, que contiene los circuitos que permiten a la estación conectarse a la red.
tasa de acceso En Frame Relay, la tasa de datos que nunca puede excederse.
tasa de baudios Número de elementos de señal transmitidos por segundo. Un elemento de señal consta de uno o más bits.
tasa de bits Número de bits transmitidos por segundo.
tasa de bits constante (CBR) Tasa de datos de una clase de servicio de ATM diseñada para clientes que requieren servicio de sonido o vídeo en tiempo real.
tasa de bits disponible (ABR) En ATM, tasa de datos mínima a la que las celdas pueden ser entregadas.
tasa de bits no especificada (UBR) Tasa de datos de una clase de servicio ATM que especifica solo la mejor entrega posible.
tasa de bits variable (VBR) Tasa de datos de una clase de servicio ATM para usuarios que necesitan una tasa de bits variable.
tasa de bits variable con tiempo real (VBR-RT) Subclase VBR para usuarios que necesitan servicios de tiempo real.
tasa de bits variable sin tiempo real (VBR-NRT) Subclase VBR para usuarios que no necesitan servicios de tiempo real.
tasa de celdas mínima (MCR) En ATM, la tasa de datos mínima aceptable por el emisor.
tasa de celdas perdidas (CLR) En ATM, fracción de celdas perdidas durante la retransmisión.
tasa de celdas sostenida (SCR) En ATM, la tasa de celdas media.

tasa de errores en celdas (CER) En ATM, fracción de celdas entregadas con errores.
tasa de información comprometida (CIR) El tamaño de la ráfaga divido por el tiempo.
tasa de muestreo Número de muestras obtenidas por segundo en el proceso de muestreo.
tasa de transmisión El número de bits enviados por segundo.
tasa pico de celdas (PCR) En ATM, la tasa de celdas máxima del emisor.
técnica multitono discreta (DMT) Método de modulación que combina elementos de QAM y FDM.
Telcordia Compañía (anteriormente Bellcore) involucrada en la investigación y desarrollo de tecnología sobre telecomunicaciones.
telecomunicación Intercambio de información a distancia utilizando equipos electrónicos.
telefonía celular Una técnica de comunicación inalámbrica en la que un área se divide en celdas. Una celda es atendida por un transmisor.
teleservicios En RDSI, servicios en los que la red puede cambiar o procesar el contenido de los datos.
temporización Factor de un protocolo que se refiere al instante en el que los datos se deberían enviar y la velocidad de la transmisión.
teorema de Nyquist Un teorema que establece que el número de muestras necesarias para representar de forma precisa una señal analógica es igual al doble de la frecuencia más alta de la señal original.
terahercio (THz) 10^{12} hercios.
terminación de la conexión Mensaje enviado para finalizar una conexión.
terminador Dispositivo electrónico que evita las reflexiones de las señales al final del cable.
terminador de red 1 (NT1) En RDSI, dispositivo situado entre el sitio local de un usuario y la central, que realiza funciones relacionadas con el primer nivel del modelo OSI.
terminador de red 2 (NT2) En RDSI, dispositivo que realiza funciones relacionadas con los tres primeros niveles del modelo OSI.
terminal de red (TELNET) Programa cliente servidor de uso general que permite el inicio de sesiones remotas.
terminal virtual (VT) Protocolo de inicio de sesión remoto en el modelo OSI.
terminal virtual de red (NVT) Un protocolo de aplicación TCP/IP que permite el inicio de sesiones remotas.
testigo Pequeño paquete utilizando en el método de acceso basado en paso de testigo.
texto nativo En cifrado/descifrado, el mensaje original.
Thicknet Véase *10base5*.
Thinnet Véase *10Base2*.
tiempo de propagación Tiempo requerido por una señal para viajar desde un punto a otro.
tiempo de vida (TTL) Véase *tiempo de vida de un paquete*.
tiempo de vida de un paquete Número de estaciones por las que un paquete puede pasar antes de ser descartado.
tiempo universal Referencia de tiempo estándar formalmente conocida como el tiempo en el meridiano de Greenwich.
tolerancia en el retardo a la variación de celdas (CVDT) En ATM, una medida de la variación en los tiempos de transmisión de celdas.
topología Estructura de una red que incluye la organización de los dispositivos.
topología en anillo Topología en la que los dispositivos se conectan en forma de anillo. Cada dispositivo del anillo recibe la unidad de datos del dispositivo anterior, la regenera y la reenvía al dispositivo siguiente.

topología en árbol Topología en la que las estaciones se conectan a una jerarquía de concentradores. La topología en árbol es una extensión de la topología en estrella con más de un nivel.
topología en bus Una topología de red en la que todas las computadoras se conectan a un medio compartido (con frecuencia un único cable).
topología en estrella Topología en la que todas las estaciones se conectan a un dispositivo central (concentrador).
topología en malla Configuración de red en la que cada dispositivo tiene un enlace punto a punto dedicado con cada dispositivo.
topología híbrida Topología compuesta de más de una topología básica.
traducción Cambio de un código o protocolo a otro.
trama Grupo de bits que representan un bloque de datos.
trama de información Véase *trama I*.
trama I En HDLC, trama de confirmación que transporta datos de usuario e información de control.
trama no numerada Véase *trama U*.
trama S Trama de HDLC utilizada para funciones de supervisión como reconocimiento, control de flujo, control de errores; no contiene datos de usuario.
trama supervisora Véase *trama S*.
trama U Trama de HDLC no numerada que transporta información de gestión del enlace.
transceptor Dispositivo que transmite y recibe.
transferencia de datos Desplazamiento de datos de un sitio a otro.
transformada de Fourier Técnica matemática que reduce una señal periódica en una serie de señales seno más sencillas.
transmisión asíncrona bloqueada (BLAST) Una versión más potente de XMODEM, que se caracteriza por transmisión full-dúplex y control de flujo basado en ventana deslizante.
transmisión asíncrona Transferencia de datos con bits de inicio y parada e intervalos de tiempo variable entre unidades de datos.
transmisión orientada a conexión Transferencia de datos que involucra el establecimiento y terminación de una conexión.
transmisión paralela Transmisión en la que los bits de un grupo se envían simultáneamente, cada uno utilizando un enlace diferente.
transmisión por microondas Comunicación que utiliza microondas.
transmisión serie Transmisión de datos bit a bit utilizando un solo enlace.
transmisión sin conexión Transferencia de datos sin establecimiento ni terminación de la conexión.
transmisión síncrona Método de transmisión que requiere una relación de temporización constante entre el emisor y el receptor.
transparencia Capacidad para enviar cualquier patrón de bits como datos sin confundirse con bits de control.
tratamiento de errores Métodos utilizados para detectar y corregir errores.
tribit Unidad de datos que consta de tres bits.
tributaria virtual (VT) Carga parcial que se puede insertar en una trama SONET y se puede combinar con otras cargas parciales para completar una trama.
troncal Camino principal de transmisión en una red.
troposfera Nivel de la atmósfera que rodea a la Tierra.

U

unidad de acceso multiestación (MAU) En una red en anillo con paso de testigo, un dispositivo que contiene los conmutadores automáticos individuales.
unidad de asignación del medio (MAU) Véase *transceptor*.
unidad de datos del protocolo (PDU) Unidad de datos definida en cada nivel del modelo OSI. En concreto, una unidad de datos especificada por IEEE 802.2 en el subnivel LLC.
unidad de datos del protocolo de sesión (SPDU) Unidad de datos definida en el nivel de sesión del modelo OSI.
unidad de datos del protocolo de transporte (TPDU) Unidad de datos definida en el nivel de transporte del modelo OSI.
unidad de servicio digital (DSU) Dispositivo que permite la conexión de un dispositivo de usuario a una línea digital.
unidad de servicio digital/unidad de servicio de canal (DSU/CSU) Dispositivo que permite a varios usuarios de una única línea T dividir la capacidad de la línea en canales entrelazados.
unidad de transferencia máxima (MTU) La unidad de datos más grande que una red determinada puede manejar.
unidestino Envío de un paquete a un solo destino.
Unión de telecomunicaciones internacional-Sector de estandarización en telecomunicaciones (ITU-T) Organización de estándares de telecomunicación conocida como la CCITT.
UNIX Sistema operativo utilizado en Internet.

V

V.21 Módem de la ITU-T de 300 baudios que utiliza modulación FSK.
V.22 Módem de la ITU-T de 600 baudios que utiliza modulación 4-PSK.
V.22bis Módem de la ITU-T de dos velocidades basado en V.22.
V.29 Módem de la ITU-T de 2.400 baudios que utiliza modulación 16-QAM.
V.32 Módem de la ITU-T que es una versión mejorada de V.29; utiliza modulación codificada trellis.
V.32bis Módem de la ITU-T que es una versión mejorada de V.32; se caracteriza por un mecanismo de retroceso y avance automático.
V.33 Módem de la ITU-T de 2.400 baudios que es una versión mejorada de V.32; utiliza modulación codificada trellis basada en 128-QAM.
V.34 Módem de la ITU-T de 2.400 baudios que proporciona compresión de datos.
V.42 Módem de la ITU-T que utiliza LAPM y el procedimiento de corrección de errores para DCE.
V.42bis Módem de la ITU-T que es una versión mejorada de V.42; utiliza compresión Lempel-Ziv-Welch.
variación en el retardo de celdas (CDV) En ATM, diferencia entre la máxima CTD y la mínima CTD.
velocidad de propagación Tasa a la que viaja una señal o un bit; medida por espacio/segundos.
ventana deslizante Protocolo que permite que varias unidades de datos sean transmitidas antes de recibir una confirmación.
verificación de redundancia longitudinal (LRC) Método de detección de errores que divide una unidad de datos en filas y columnas y realiza comprobaciones de paridad con los bits correspondientes a cada columna.

verificación de redundancia vertical (VRC) Método de detección de errores basado en la comprobación de paridad por carácter.
videoconferencia Servicio que permite a un grupo de usuarios intercambiar información a través de una red.
voz sobre Frame Relay (VOFR) Opción de Frame Relay que puede manejar voz.

W

web Sinónimo de World Wide Web (WWW).
World Wide Web (WWW) Servicio de Internet multimedia que permite a los usuarios recorrer Internet moviéndose de un documento a otro mediante enlaces que los conectan.

X

X.121 Protocolo utilizado por la mayoría de las redes X.25 que globalmente direccionan DTE conectados a una red pública o privada.
X.21 Estándar de la ITU-T que define la interfaz entre un DTE y un DCE.
X.25 Estándar de la ITU-T que define la interfaz entre un dispositivo terminal de datos y una red de conmutación de paquetes.
X.28 Protocolo triple X que define las reglas para la comunicación entre un terminal tonto y un PAD.
X.29 Protocolo triple X que define la relación entre un PAD y un terminal remoto.
X.3 Protocolo triple X que define un PAD.
X.400 Estándar de la ITU-T para correo electrónico y tratamiento de mensajes.
X.500 Estándar de la ITU-T para un servicio de directorios.
XMODEM Protocolo asíncrono para comunicación mediante línea telefónica entre dos PC.

Y

YMODEM Protocolo asíncrono que difiere de XMODEM en el tamaño de la unidad de datos, el método de terminación de la transmisión, la comprobación de errores y la transferencia de archivos.

Z

ZMODEM Protocolo asíncrono que combina características de XMODEM e YMODEM.

BIBLIOGRAFÍA

Bates. Bud. y Donald Gregory. *Voice and Data Communications Handbook*. Burr Ridge, IL: McGraw-Hill, 1996.
Beyda, William J. *Data Communications*, 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1996.
Black, Uyless. *Data Link Protocols*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1993.
Black, Uyless. *Emerging Communications Technologies*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1994.
Comer, Douglas E. *Internetworking with TCP/IP*, vol. 1. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1995.
——. *Internetworking with TCP/IP*, vol. 2. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1996.
——. *Internetworking with TCP/IP*, vol. 3. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1999.
——. *The Internet Book*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1995.
Dickie, Mark. *Routing in Today's Internetworks*. New York, NY: Van Nostrand Rein-hold, 1994.
Forouzan. Behrouz. *Introduction to Data Communications and Networking*. Burr Ridge, IL: MacGraw-Hill, 1998.
Halsall. Fred. *Data Communications. Computer Networks and Open Systems*, 4th ed. Reading, MA: Addison-Wesley, 1995.
Hardy, James K. *Inside Networks*. Upper Saddle River. NJ: Prentice-Hall, 1995.
Herrick, Clyde N., y C. Lee McKim. *Telecommunication Wiring*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1992.
Hioki, Warren, *Telecommunications*, 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1995.
Huitema, Christian. *Routing in the Internet*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1995.
Johnson, Howard W. *Fast Ethernet*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1996.
McClimans, Fred J. *Communications Wiring and Interconnections*. Burr Ridge, IL: McGraw-Hill, 1992.
Miller, *Philip. TCP/IP Explained*. Newton. MA: Digital Press, 1997.
Morleym John, y Stan Gelber. *The Emerging Digital Future*. Danver, MA: Boyd & Fraser, 1996.
Moy, John. *OSPF*. Reading. MA: Addison-Wesley, 1998.
Naugle, Matthew G. *Network Protocol Handbook*. Burr Ridge, IL: McGraw-Hill, 1994.
Partridge, Craig. *Gigabit Networking*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1994.

Pearson, John E. *Basic Communication Theory*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1992.
Perlman, Radia. *Interconnections: Bridges and Routers*. Reading, MA: Addiosn-Wesley, 1992.
Shay, William A. *Understanding Data Communications and Networks*. Boston, MA: PWS, 1994.
Siyan, Karanjit S. *Inside TCP/IP*, 3rd ed. Indianapolis, IN: New Riders, 1997.
Smith, Philip. *Frame Relay. Reading*, MA: Addison-Wesley, 1993.
Stallings, William. *Data and Computer Communications*, 5th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1997.
Stevens, W. Richard. *TCP/IP Illustrated*, vol. 1. Reading, MA: Addison-Wesley, 1994.
——. *TCP/IP Illustrated*, vol. 3. Reading, MA: Addison-Wesley, 1996.
Tanenbaum, Andrew S. *Computer Networks*, 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1996.
Thomas, Stephen A. *IPng and the TCP/IP Protocols*. New York, NY: Wiley, 1996.
Washburn, Kevin, y Jim Evans. *TCP/IP: Running a Successful Network*, 2nd ed. Reading, MA: Addison-Wesley, 1996.
Wright, Gary R., y W. Richard Stevens. *TCP/IP Illustrated*, vol. 2. Reading, MA: Addison-Wesley, 1995.

ÍNDICE ANALÍTICO

1BASE5, 359, 366
  cable, 366
  longitud, 366
  velocidad de datos, 366
2B1Q, 466
2-PSK, 109
4-PSK, 109
4-QAM, 111
8B/6T, 370
8-PSK, 109
8-QAM, 111
10BASE2, 359, 374
  10BASE2, NIC, 365
  cable, 365
  conector BNC-T, 365
  conectores y cables, 365
  desventajas, 364
  RG-58, 365
  topología, 364
  transceptor, 365
  velocidad de datos, 364
  ventajas, 364
10BASE5, 359, 362, 363
  conectores y cables, 362
  longitud de segmento, 362
  señales, 362
  topología, 362
10BASE-T, 359, 365
  cable, 365
  concentrador, 365
  instalación, 366
  RJ-45, 366
  topología, 365
  velocidad de datos, 365
10BROAD36, 359
  Ethernet, 361
16-QAM, 111
100BASE-FX, 369
100BASE-T, 359
100BASE-T4, 369
  cable, 370
100BASE-TX, 369
  cable, 369
100BASE-X, 369
802.1, 356, 357
802.2, 356, 357
  LLC, 357
802.3, 356, 372
  categorías, 359
  CSMA/CD, 359
  Ethernet, 358
802.4. *Véase* Bus con paso de testigo
802.5. *Véase* Red en anillo con paso de testigo
802.6, 397
1000BASE-CX, 372
1000BASE-LX, 372
1000BASE-SX, 372
1000BASE-T, 372

AAL, 547
  categorías, 547
  flujo constante de bit de datos, 547
  flujo variable de bit de datos, 547
  paquete de datos orientado a conexión, 547
  paquete de datos sin conexión, 547
  proyección, 547
  receptor, 547
  SEAL, 547
  tipos de datos, 547
AAL1, 547
  aplicaciones para las que existe, 548
  bit de paridad de SAR, 549
  cabecera de SAR, 548
  contador de secuencia de SAR, 549
  CS, 548
  SAR CRC, 549
  SAR CS identificador de, 549
  SAR, 548
AAL2, 547, 550
  aplicaciones para las que existe, 549
  contador de secuencia de SAR, 550
  CS, 550
  indicador de longitud de SAR, 550
  AR CRC, 550
  SAR CS identificador de, 550

  - SAR, 550
  - tipo de información de SAR, 550
- AAL3, 547
- AAL3/4, 548, 551
  - alineación de CS, 552
  - asignación de buffer en CS, 551
  - cabecera y cola de CS, 551
  - cabeceras y cola de SAR, 553
  - contador de secuencia SAR, 552
  - CS, 550
  - escenario de relleno, 551
  - etiqueta de comienzo de CS, 551
  - etiqueta de terminación de CS, 552
  - identificación de multiplexación SAR, 553
  - indicador de longitud, 553
  - longitud de CS, 552
  - rellenando CS, 550
  - relleno en CS, 551
  - SAR CRC, 553
  - SAR CSI, 552
  - SAR, 553
  - sobrecarga de SAR, 551
  - tipo CS, 551
  - tipo de segmento SAR, 552
- AAL4, 547
- AAL5, 547, 553
  - cola de CS, 553
  - CS CRC, 553
  - CS, 552
  - ID de usuario-a-usuario en CS, 554
  - longitud de DS, 554
  - relleno en CS, 553
  - relleno, 554
  - SAR, 554
  - sobrecarga, 553
  - tamaño del paquete de CS, 553
  - tipo de CS, 554
- ABM, 330
  - ejemplo, 243
  - estación combinada, 330
  - punto-a-punto, 330
- AC, campo de prioridad de Red en anillo con paso de testigo, 377
- Acceso Múltiple Sensible a Portadora con Detección de Colisiones. *Véase* CSMA/CD
- Acceso Múltiple Sensible a Portadora. *Véase* CSMA
- acceso múltiple. *Véase* MA
- acceso remoto, 669
  - local, 669
  - mismo tipo de terminal local y remoto, 670
  - problemas de los distintos terminales locales y remotos, 670
- ACK, 749
  - en BSC, 321
  - en rechazo selectivo ARQ, 306-307
  - en muestreo, 293
  - en muestreo/selección, 293
  - en ventana deslizante, 296
  - en ventana deslizante ARQ, 303
  - en XMÓDEM, 318
  - perdida, 300, 302, 304, 308
  - Trama S en HDLC RR, 337
  - Trama S en HDLC, 337
  - vuelta-atrásN, 300
- Adaptador de Terminal. *Véase* TA
- Adelante-atrás N, 300
  - trama dañada, 304
  - trama de datos perdida, 305
- ADSL, 342, 343, 344
  - bandas, 246
  - bucle local, 246
  - CAP, 247
  - dirección de salida, 246
  - DMT, 247
  - entrada, 248
  - HDSL, 248
  - modulación, 247
  - RADSL, 248
  - RDSI, 477
  - salida, 248
  - servicio telefónico, 246
  - VDSL, 249
- Agencia de Proyectos Avanzados de Investigación. *Véase* ARPA.
- agencias reguladoras, 13
- agencias reguladoras gubernamentales, 9
- Agente de Sistemas de Directorio. *Véase* DSA
- Agente de Transferencia de Correo Electrónico. *Véase* MTA
- Agente de Transferencia de Mensaje. *Véase* MTA
- Agente de Usuario de Directorios. *Véase* DUA
- Agente de Usuario. *Véase* UA
- agente, 726
  - base de datos, 727
  - MIB, 727
  - señal, 727
- agrupamiento funcional, 460
- aislamiento, par trenzado, 181
- algoritmo de descifrado, método de clave pública, 660
- algoritmo de Dijkstra, 618
  - árbol de camino más corto, 618
  - nodo, 618
  - pasos, 618
- algoritmo del árbol de expansión, 600
- algoritmo del cubo con escape, datos a ráfagas, 520
- algoritmo, 791
- algoritmos de encaminamiento, 608
  - coste más bajo, 608
- almacenamiento de mensaje (MS), 667
- almacenar y reenviar, 428, 431
  - concepto, 666
- AM, 114, 116, 117
  - ancho de banda, 116
  - portadora, 116
  - y FM, 118
- AMI, 87, 92, 93, 248
  - componente DC, 93
  - HDSL, 248
  - tipos, 93
  - y B8ZS, 93
  - y HDB3, 94
- AMI bipolar, 92
- amperio, 64

- Ampliación para Correo Internet Multiuso. *Véase* MIME
- amplificador, 596
  - atenuación, 205
  - repetidor, 596
  - ruido, 596
- amplificador diferencial, 151
- amplitud, 64, 101, 102, 103
  - ASK, 103
  - FM, 117
  - FSK, 106
  - medida, 64
  - onda seno, 64, 69
  - PM, 119
  - PSK, 107
  - QAM, 111
  - unidad, 64
  - variación de, 101
- análisis de Fourier, 71
- analógico *vs* digital, 61
- ancho de banda, 73, 107, 110, 116, 118, 119, 155, 157
  - ASK, 105, 155, 157
  - bucle local, 239
  - cable coaxial, 168
  - cálculo, 73
  - de línea, 155
  - de señal, 104
  - espectro, 73
  - FDM, 225
  - fibra óptica, 194
  - FM, 117, 118
  - FSK, 106, 157, 158
  - grupo, 239
  - grupo maestro, 240
  - limitación, 155
  - línea de teléfonos, 155, 157, 168
  - medio, 155
  - para transmisión de datos, 154
  - pérdida en TDM, 232
  - PSK y QAM, 158
  - PSK, 109
  - radio AM, 116
  - señal de audio, 116, 118
  - señal de audio estéreo, 119
  - supergrupo, 239
  - y número de cables, 158
- ancho de banda bajo demanda, 236, 242
  - datos a ráfagas, 507
- ancho de banda de AM, 116
- ancho de banda de la señal, 155
- ancho de banda de una línea, 155
- ancho de banda significativo, 77
- ángulo crítico, 188
- anillo, 22, 27
  - con paso de testigo, 378
  - definición, 27
  - desventajas, 28
  - DQDB, 402
  - dual, 27
  - repetidor, 27
  - ventajas, 27
- anillo con paso de testigo, 372
  - bit del testigo, 376
  - campo AC, 373, 375
  - campo de datos, 377
  - campo de prioridad, 373
  - campo de reserva, 377
  - campo lógico, 377
  - código de prioridad, 373
  - conmutador, 379
  - control de trama, 377
  - CRC, 377
  - delimitador de comienzo, 375
  - delimitador de fin, 377
  - dirección de destino, 377
  - dirección física, 377
  - direccionamiento, 375
  - especificación eléctrica, 375
  - estación desactivada, 379
  - estación que origina, 377
  - estaciones monitor, 375
  - estado de trama, 377
  - fabricación, 372
  - formato de trama, 375
  - funcionamiento, 372
  - implementación, 279
  - liberación de testigo, 373
  - Manchester diferencial, 375
  - MAU, 379
  - medios, 184
  - método de acceso, 373
  - método de codificación, 88
  - modos de conmutación, 379
  - NIC, 373
  - paso de trama, 279
  - PDU, 377
  - prioridad y reserva, 373
  - puertos NIC, 379
  - regeneración de testigo, 373
  - reserva, 373
  - señalización, 375
  - testigo perdido, 375
  - trama de datos/órdenes, 375
  - trama de testigo, 377
  - velocidad de datos, 375
- anillo de aislamiento de fallos, 27
- anillo dual, 386
- ANSI, 10, 11, 12
- antena, 200, 201
  - cornete, 200
  - disco parabólico, 199
  - foco, 199
  - microondas, 199
  - onda de radio, 194
  - parabólica, 199
  - propagación del espacio, 196
  - VHF, 197
- aplicaciones,
  - correo electrónico, 7
  - fabricación, 7
  - Intercambio Electrónico de Datos (EDI), 7
  - servicios de información, 7
  - servicios financieros, 7
  - teleconferencia, 7
  - teléfono móvil, 8
  - televisión por cable, 8
  - ventas y publicidad, 7

aplicaciones de red
    servicios de directorio, 7
    televisión por cable, 8
applet, 739
aproximación de datagramas, 424
    canales múltiples, 425
    enlace, 424
    independencia de paquetes, 424
árbol, 22
    concentrador central, 25, 26
    concentrador secundario, 25, 26
    ventajas, 26
árbol de camino más corto, 618
árbol de expansión y encaminamiento multidestino, 814
árbol de expansión, 809
    algoritmo, 811
    búsqueda de puente raíz, 811
    coste del camino raíz, 811
    coste del puerto, 812
    puente designado, 812
    puerto raíz, 812
    raíz, 812
árboles de caracteres, 784
archivo, 667
archivos virtuales, 668
aritmética modular, 765
ARM, 330
    inicio de transmisión, 330
ARP, 682, 695, 696
    Pv6, 798
    paquete, 695
    uso de, 695
ARPA, 681
    ARPANET, 681
    TCP/IP, 681
ARQ, 300
    ACK o NAK perdidos, 300
    parada y espera, 300
    retransmisión, 300
    tramas perdidas, 300
ARQ adelante-atrás, 302, 304
    ARQ de rechazo selectivo, 306
    reconocimiento perdido, 305
    REJ, 338
    trama de datos perdida, 305
ARQ de parada y espera, 300, 302, 303
    ACK o NAK perdido, 302
    características, 300
    ejemplo de trama dañada, 301
    emisor, 300
    numeración de ACK, 301
    reconocimiento, 301
    temporizador, 302
    trama de datos perdida, 304
    trama NAK, 301
    trama pérdida, 301, 304
ARQ de rechazo selectivo
    ejemplo de trama dañada, 307
    reordenación de trama, 306
ARQ en ventana deslizante, 300, 302
    características, 302
    emisor, 303
    TCP, 700
    temporizador, 304
    trama pérdida, 304
ASCII, 85
asignación de crédito, 641
    control de flujo, 641
    ventana deslizante, 641
asignación de frecuencia de radio, 194
ASK, 101, 103, 106, 157
    ancho de banda, 104, 155
    baudios, 155
    Bell, 159
    concepto, 103
    módem, 155
    modulador, 157
    ruido, 104
    señal portadora, 103
    tasa de bit, 157
    velocidad de transmisión, 103
ASN.1, 652
    almacenamiento de archivos virtuales, 668
    analogía, 652
    diversidad de datos de almacenamiento, 652
    nivel de presentación, 652
    objeto, 652
    problema formal, 652
    SNMP, 728
    tipos de datos, 652
Asociación de Grupos de Expertos en Fotografía
    JPEG), 673
Asociación de Industrias de Electrónica (EIA), 10
atenuación, 205
    amplificador, 205
    fibra óptica, 194
    LF, 197
    sistema de teléfono, 239
    VLF, 197
ATM, 13, 413, 533, 537, 542, 559, 560
    AAL1, 547
    AAL2, 550
    AAL3/4, 550
    AAL5, 553
    aplicaciones, 559
    arquitectura, 537
    aspectos de direccionamiento, 560
    aspectos de la conexión, 560
    autopistas de la información, 533
    BRI, 467
    BUS, 561
    cabecera para NNI, 554
    caída del conmutador, 542
    categorías AAL, 547
    celda, 539
    clase de tasa de bit constante, 556
    clases de servicio, 556
    clases de tasa de bit sin especificar, 557
    clases de tasa de bit variable, 556
    clases de velocidades de bit disponibles, 557
    conexión virtual, 537
    conmutación, 541
    conmutador Banyan, 544
    conmutador Batcher-Banyan, 545
    conmutador LAN, 561
    consideraciones de coste, 533

    convergencia y segmentación, 548
    descriptor de tráfico, 559
    ejemplo de prioridad, 555
    encaminamiento jerárquico, 542
    establecimiento de conexión, 539
    Ethernet conmutada, 559
    Foro y consorcio, 13
    LAN, 533, 559
    LANE, 561
    LEC, 561
    LES, 561
    liberación de conexión, 539
    medio, 533, 556
    movimiento hacia el *hardware*, 533
    multiplexación, 536
    nivel físico, 556
    niveles, 547
    objetivo de diseño, 533
    orientado a conexión, 533
    prioridad de descarte, 556
    requisitos, 543
    SONET, 556
    subniveles AAL, 547
    SVC, 541
    tasa de bit variable en tiempo real, 556
    tasa de bit variable sin tiempo real, 556
    TDM asíncrono, 536
atributo, 736
AUI, 362, 364
autenticación, 438, 651, 663
    definición, 663
    paquete, 438

B8ZS, 87, 92, 93
    ejecución de ceros, 93
    PRI, 469
    violación, 93, 95
    y AMI, 93
Baja Frecuencia. *Véase* LF
banda ancha, 359
    señalización en Ethernet, 361
banda base, 359
    señalización en Ethernet, 361
banda de guarda, 225
    ADSL, 246
    grupo yumbo, 239
    sistema telefónico, 239
bandas de radio, 194
barras cruzadas, 543
    conmutador multietapa, 418
base de datos de estado del enlace, 618
    algoritmo de Dijkstra, 618
base de datos distribuida, 4
Base de Información de Gestión. *Véase* MIB
Base del Directorio de Información. *Véase* DIB
baudios, 102, 107, 110
    ASK, 109, 155
    dibit, 113
    FSK, 112, 157
    línea telefónica, 157
    PSK, 109
    y tasa de bit en FSK, 157
    y tasa de bit, 102
BCC
    BSC, 323
    detección de errores, 323
    trama de datos BSC, 323
BECN, 517
    emisor, 518
    mecanismos, 518
Bellcore, 12
bifásica, codificación, 87
bipolar 3 de alta densidad. *Véase* HDB3
bis, 161
bit, 3,
    comparación con la tasa de baudios, 113
    relación con la fase, 109
    series de unos o ceros, 88
bit ACK, segmento TCP, 701
bit de dirección, TDM, 235
bit de inicio, 135
bit de parada, 135
bit de paridad
    CRC y, 549
    impar, 267
    VRC, 267
bit de sincronización, 232
bit de testigo, 376
bit de trama, 232
    formato, 232
    TDM, 232
bit P/F, 335
bit sondear/seleccionar. *Véase* bit P/F
bits de redundancia, 277
BLAST, 319
bloqueo, 418
    relativo a las etapas, 418
BNC, 187
BOOTP, 713
    DHCP, 713
    enlace, 713
    protocolo de configuración dinámica, 713
    RARP, 713
BPDU, 812
    155.520 Mbps de entrada/622.080 Mbps de salida, 477
BRI, 458, 459
    alimentación, 466
    ATM, 467
    cauce digital, 459
    clientes, 459
    composición de bit, 467
    conexión multipunto, 467
    conexión punto-a-punto, 467
    conexión y topología, 467
    distancia al dispositivo, 467
    especificaciones para nivel físico BRI, 465
    interfaces, 466
    interfaz R, 466
    interfaz S, 466
    interfaz U, 466
    nivel físico, 464
    problema de temporización, 468
    puntos de referencia, 464

sincronización de tramas, 467
sobrecarga, 459
topología de estrella, 468
topología, 467
trama, 467
velocidad de datos, 459
brouter, 606
BSC, 321, 323, 326
ARQ de parada y espera, 321
carácter de control, 321
el multipunto, 321
en punto a punto, 321
formato de trama de datos, 321
multitrama, 325
protocolo orientado a caracteres, 321
semidúplex, 321
trama, 321
trama de control, 326
transparencia de datos, 326
troceado de mensajes, 324
bucle
encaminamiento, 603
recursos de red, 604
tiempo de vida de un paquete, 604
bucle de abonado, 458
bucle local, 239, 423, 454
ADSL, 246
señal, 239
buffer, 295
bus, 22
BUS, 561
conector, 26
desventajas, 27
Ethernet, 362
fallo, 27
líneas de conexión, 26
terminador, 187
troncal, 26
ventajas, 27
bus dual, 397
Bus Dual de Cola Distribuida. *Véase* DQDB
bus en testigo
características, 372
libre de colisión, 372
método de testigo, 372
Proyecto, 356
topología, 372
bus TDM, 420
buzón de correo electrónico, 666, 724
byte de relleno, 326

cabecera, 43, 323
celda, 539
DQDB, 403
en BSC, 323
TCP, 699
trama de datos BSC, 323
cabecera base, IPv6, 805
cable coaxial, 4, 181, 186
10BASE2, 364
ancho de banda, 168
clasificaciones RG, 187
conductor, 186
conector, 187
conector T, 187
estándares, 187
FTTC, 249
funda, 186
rango de frecuencia, 186
terminador, 187
velocidad de propagación, 209
ventaja de la fibra óptica, 193
cable de fibra óptica. *Véase* fibra óptica
cable de par trenzado, 181
cable de TV, 8
FTTC, 249
cable módem,
carga, 169
descarga, 169
repartidor, 168
cable RG-8, 363
coaxial, 186
par trenzado, 181
cables, 369
caja-P, 656
Calidad de Servicio. *Véase* QoS
camino, 224, 427
camino virtual, 668
Caminos de Transmisión. *Véase* TP
campo de control
HDLC, 334
PDU, 357
tipos, 334
campo de protocolo
CHAP, 443
paquete PAP, 443
campo de reserva, 377
campo N(S), 334
campo opcional de cabecera TCP, 701
campos virtuales, 668
canal, 4, 21, 22, 224
canal B, 458
BRI y PRI, 458
con canal D, 458
en PRI, 459
LAPB, 464, 470
protocolo de nivel de enlace, 470
tipos de datos, 458
velocidad de datos, 458
canal D, 458
BRI y PRI, 458
con canal B, 458
en PRI, 459
función, 458
LAPD, 470
niveles, 464
protocolo de enlace, 470
velocidad de datos, 458
canal de datos. *Véase* canal D
canal H
BRI y PRI, 458
función, 458
canal híbrido. *Véase* canal H
canal portador. *Véase* canal B
cancelación de eco, 163

capacidad de Sahnnon, 168
fórmula, 210
capacidades, 244
carácter de control, BSC, 321
cauce digital, 455, 457
BRI, 459
CD, 360
CDDI, 380
celda, 535, 539, 558
cabecera, 539
carga útil, 539
estructura, 539
Central de Conmutación de Teléfonos Móviles. *Véase* MTSO
central, 454
estacional, 421
final, 421
primaria, 421
reginal, 421
CEPT, 11
CGI, 737
CHAP, 443
contraseñas, 444
formato del paquete, 445
paquete de desafío, 443
saludo a tres bandas, 443
seguridad, 444
tipos de paquetes, 445
Cheapnet, 364
ciclo, 63
fase, 68
infinito, 68
cierre gracioso, 647
cifra de Vignere, 654
cifrado, 6, 652-654
autenticación, 663
categorías, 653
cifrado de Vignere, 654
clave en el método convencional, 653
clave pública, 660
como inverso del descifrado, 659
DES, 658
IPv4, 798
Julio César, 653
método convencional, 653
método de clave pública, 653
monoalfabético, 654
necesidad de, 652
nivel de bit, 655
nivel de carácter, 654
nivel de presentación, 53
OR exclusivo, 657
permutación, 656
polialfabético, 654
por transposición, 655
producto, 657
rotación, 658
RSA, 682
sustitucional, 656
texto cifrado, 653
texto nativo, 653
cifrado a nivel de bit, 653
cifrado a nivel de carácter, 653
cifrado convencional, 653
claves, 653
nivel de carácter, 653
cifrado de clave pública, 660
algoritmo de descifrado, 660
firma digital, 663
RSA, 660
cifrado por transposición, 655
cifrado RSA, 660
ejemplo, 661
eligiendo valores, 661
factores primos, 663
método, 661
reciprocidad, 663
seguridad, 662
cifrador de texto, 653
CIR. *Véase* Velocidad de Información Confirmada
Circuito Celular Analógico Conmutado (ACSC), 204
Circuito Virtual Permanente. *Véase* PVC
circuito virtual
conmutación de circuitos, 427
enlace compartido, 427
SVC, 425
TCP, 699
X.25, 490
Circuitos Virtuales. *Véase* VCI
clase de servicio, 559
clases de transporte, 639
clave secreta, 663
cliente, 712
cliente LANE. *Véase* LEC
CLTS, 642
CMIP, 666, 671
evaluación de prestaciones, 672
objetos gestionados, 672
registros de datos, 672
CMIS, 672, 673
elementos de asociación de servicios, 672
gestión de configuración y nombres, 672
gestión de cuentas, 672
gestión de fallos, 672
gestión de rendimiento, 672
gestión de seguridad, 672
objetivos, 672
servicios, 672
y CMISE, 672
CMISE, 672
categorías, 672
asociación de gestión de servicios, 672
servicios de gestión de notificación, 673
servicios de gestión de operación, 673
coax. *Véase* cable coaxial
codec, 96
codificación,
4B/5B, 383
AMI, 92
analógica a digital, 96
B8ZS, 93
bifase, 91
bipolar, 91
HDB3, 94
Manchester, 91
Manchester diferencial, 91

NRZ, 88
NRZ-I, 88
NRZ-L, 88
PAM, 96
PCM, 97
polar, 88
unipolar, 87
codificación 4B/5B, 383
codificación analógica a analógica, 114
codificación analógica a digital, 96
codificación bipolar, 86, 91
AMI, 92
niveles, 91
tipos, 86, 92
codificación de rejilla, 163
codificación digital a digital, 87
codificación polar, 87, 88
Codificación por Desplazamiento de Amplitud. *Véase* ASK
Codificación por Desplazamiento de Frecuencia. *Véase* FSK
Codificación por Desplazamiento Diferencial de fase. *Véase* DPSK
codificación unipolar, 87
problemas, 87
sincronización, 88, 89
codificación y decodificación de cifrado a nivel de bit, 656
código ASCII, 264
carácter de control, 321
traducción, 651
código corrector de errores, 277
Código de Identificación de Red de Datos (DNIC), 498
código de identificación, 6
Código Estándar Americano para Intercambio de Información. *Véase* ASCII
código *hamming*, 275
cálculo de paridad, 279
cálculo de valores r, 279
corrección y detección de errores, 279
implementación, 279
longitud de la unidad de datos, 278
posicionamiento de los bits r, 278
VRC, 278
código Huffman, 781
árbol, 782
asignación de código, 785
asignación de peso, 782
basado en frecuencia, 782
concepto, 781
decodificación, 786
longitud de bit de carácter, 781
LZW, 787
nodo, 782
nodo a nivel de hoja, 783
paso, 782
sistema de transmisión, 781
código Morse, 665
cola distribuida, 397, 400
cola, 43, 400, 402, 520
colisión, 368, 372
Ethernet conmutada, 367
Ethernet, 359
comando AT, 164, 165
Comité Europeo de Correos, Telégrafos y Teléfonos, 11
Comité Federal de Comunicaciones (FCC), 13
Common Gateway Interface. *Véase* CGI
compartición de datos, 3
complemento a dos, 767, 768
complemento a uno, 768
acarreo, 769
cálculo, 767
representación del cero, 769
suma de dos números, 767
componente DC, 87
codificación polar, 88
compresión, 651
código Huffman, 781
compresión con pérdida, 666
pérdida de datos, 666
compresión de datos con pérdida, 664
codificación de Huffman, 665
codificación LZW, 665
código Morse, 665
compresión estadística, 665
compresión relativa, 665
con pérdida, 666
longitud de la ejecución, 664
nivel de presentación, 53
símbolo a ejecutar, 664
sin pérdida, 664
V.34, 164
compresión de datos, 664
categorías, 664
codificación diferencial, 665
compresión estadística, 665
compresión por longitud de ráfaga, 665
compresión relativa, 665
compresión sin pérdida
estadística, 665
LZW, 787
por longitud de ráfaga, 665
relativa, 665
Comprobación de Paridad. *Véase* VRC
Comprobación de Redundancia Cíclica. *Véase* CRC
Comprobación de Redundancia Longitudinal. *Véase* LRC
Comprobación de Redundancia Vertical. *Véase* VRC
comprobación de redundancia, 266
nivel físico, 266
tipos, 266
comprobador VRC, 776
puerta XOR, 777
salida, 777
comprobador,
CRC, 272, 778
LCR, 778
suma de comprobación, 275
VRC, 267
computadora, definición, 681
ARP, 695
dirección IP, 690
ICMP, 696
internet, 682
multienvío, 686
múltiples direcciones, 689

comunicación, 8
en redes grandes, 413
requisitos, 289
Comunicación Binaria Síncrona. *Véase* BSC
comunicación entre redes, 21
comunicación personal móvil, 205
comunicación por satélite en banda de frecuencia, 202
comunicación submarina, 197
banda de frecuencias, 202
microondas terrestres, 199
ventaja, 201
concatenación, nivel de transporte, 633
concentrador, 26
10BASE-T, función, 365
activo, 26
pasivo, 26
secundario, 26
Concentrador de Conexión Dual. *Véase* DAC
concentrador inteligente, 365
condificación pseudoternaria, 93
conductor
fibra óptica, 193
media sin guía, 194
par trenzado, 182
STP, 185
conector
BNC-T, 365
de barril, 187
de interfaz de medios. *Véase* MIC
de red a bayoneta. *Véase* BNC
en T, 187
hembra, 140
macho, 140
barril, 187
cable coaxial, 187
fibra óptica, 193
STP, 185
TV y VCR, 187
UTP, 184
conexión punto a punto, 437
NT1 y NT2, 461
conexión, 21, 22, 427
establecimiento, 49
liberación, 49
local, 717
nivel de transporte, 49
remota, 718
conferencia de texto, 7
configuración balanceada, 329
configuración de una línea, 21, 22
configuración maestro/esclavo, 329
configuración multipunto, 45
configuración simétrica, 329
congestión, 517, 524
ejemplo, 517
evitarla en *Frame Relay*, 517
Frame Relay, 517
conjunto de protocolos TCP/IP, 54
conmutación, 413
bus TCM, 420
circuito, 414
concepto, 414
conmutación por división en el espacio, 416
división en el tiempo *vs* en el espacio, 420
estrategias nuevas, 413
mensaje, 416
nodos, 413
red de celdas, 536
conmutación de circuitos, 413, 414
circuito virtual, 427
desventaja, 424
enlace dedicado, 427
entradas y salidas, 414
incomunicación de voz, 423
inflexibilidad, 424
priorización, 424
propósito, 423
reducción del enlace, 414
transmisión de datos, 424
conmutación de mensaje, 413
almacenamiento secundario, 428
historia, 427
usos, 428
conmutación de paquetes, 413, 423, 424
almacenamiento primario, 428
enfoque basado en datagrama, 424
enfoque de circuito virtual, 425
enfoques, 424
necesidad de la, 424
conmutación por división en el espacio, 415, 416, 420
conmutación por división en el tiempo, 415, 419
división en el espacio, 420
pros y contras, 420
conmutado/56, 241
abonado, 241
ancho de banda bajo demanda, 242
DSU, 241
IDN, 455
módem, 241
SMDS, 405
tasa de datos, 241
usos, 241
ventajas, 241
conmutador, 514, 520, 542
almacenar y reenviar, 607
anillo con paso de testigo, 378
Banyan, 544
barras cruzadas, 416, 543
de reenvío directo, 607
definición, 413
DLCI, 514
ejemplo de tiempo-espacio-tiempo, 420
eliminatorio, 544
encaminamiento, 607
Ethernet, 367
sistema telefónico, 239
tradicional, 607
conmutador Banyan,
colisiones internas, 545
microconmutador, 544
conmutador barras cruzadas, 416
eficiencia, 416
limitación, 416
conmutador Batcher-Banyan, 545
conmutador de una etapa, puntos de cruce, 418
conmutador eliminatorio, 544

conmutador multietapa, 416, 421
Banyan, 544
bloqueo, 418
comparación con el de barras cruzadas, 416
conmutador intermedio, 417
consideraciones de diseño, 417
espacio-tiempo-tiempo-espacio (STTS), 421
primera etapa, 417
rutas múltiples, 417
tercera etapa, 417
tiempo-espacio-espacio-tiempo (TSST), 421
tiempo-espacio-tiempo (TST), 421
conmutador plegado, 414
conmutador VP, 541
encaminamiento de celdas, 542
visión conceptual, 542
conmutadores de encaminamiento, 608
Consorcio ATM, 13
constelación, 109
Contador de Comprobación del Bloque. *Véase* BCC
contador de saltos,
límite, 603
longitud del camino, 603
protocolos que usan, 602
vector de distancia, 614
contención, 357
contraseña, 6, 442, 443, 444
CHAP, 443
PAP, 443
Control de Acceso al Medio. *Véase* MAC
Control de Acceso. *Véase* AC
nivel de enlace de datos, 47
control de conexión, 50
control de duplicación, 634
Control de Enlace de Datos de Alto Nivel. *Véase* HDLC
Control de Enlace de Datos Síncrono. *Véase* SDLC
control de enlace de datos, 289
control de enlace lógico. *Véase* LLC
control de error, 50, 289, 301
ARQ para rechazo selectivo, 306
ARQ para ventana deslizante, 302
ARQ, 300
HDLC, 337
MAC, 357
nivel de enlace de datos, 300
nivel de transporte, 48, 632
retransmisión, 290
trama de control BSC, 326
X.25, 492, 508
y flujo de control, 289
control de flujo, 50, 289, 295
ARQ de parada y espera, 300
ARQ, 300
buffer, 295
concepto, 289, 295
Frame Relay, 518
HDLC, 337
MAC, 357
métodos, 295
nivel de enlace de datos, 295
nivel de transporte, 48, 634, 641
parada y espera, 295
protocolo, 371
receptor, 295
trama de control BSC, 326
ventana deslizante, 296, 298
X.25, 492
control de pérdida, 634
control de secuencia, 633
control de tráfico, 522
Frame Relay, 522
medidas, 522
PV, 522
SVC, 522
control del diálogo, 51
controlador, 26, 734
de pseudoterminal, 718
conversión
analógica a analógica, 101, 114
analógica, 155
analógica a digital, 85
digital a digital, 85
FSK, 106
PSK, 107
QAM, 111
corrección de errores, 263
bit de redundancia, 276
bit de retransmisión, 277
bit sencillo, 277
códigos, 277
error de ráfaga, 281
estado de los bit, 277
implementación, 300
limitación de bit, 277
múltiples bit, 281
necesidad para, 263
correo electrónico. *Véase* e-mail
corriente continua, 71
COTS, 641
T-CONNECT, 641
T-DATA, 641
T-DISCONNECT, 641
T-EXPEDITED-DATA, 641
tipos de servicios, 641
CR, 750
CRC, 266, 270, 778, 779
ATM, 556
bases, 270
bit de redundancia, 270
comprobador, 272
derivación del resto, 271
división, 271
división módulo-2, 271
divisor, 271
en BSC, 323
función del emisor, 270
función receptora, 270
generador, 270, 778
hardware, 780
HDLC, 337
polinomial a generador, 779
polinomial ITU-T, 779
polinomiales, 273
estándares, 273
PPP, 439

rendimiento, 274
representación de divisor, 274
resto, 270
salida, 779
visión global, 270
XMODEM, 318
y bit de paridad, 549
CRC-32, 362
Ethernet, 361
Red en anillo con paso de testigo, 377
criterios de red, 5
CS, 548
AAL1, 548
AAL2, 550
AAL3/4, 550
CSMA, 359
CSMA/CD, 359
concepto, 359
dominio de colisión, 368
evolución, 359
Proyecto 802.3, 356
transceptor, 363
CSU, 245
cuantización, 97

DA, 361
DAC, 388
DAS, 387
datagrama de usuario
e ICMP, 699
formato, 698
TCP/IP, 681
datagrama, 424
ARP, 695
campo de desplazamiento del fragmento, 684
campo de dirección de destino, 685
campo de dirección origen, 685
campo de identificación, 684
campo de indicadores, 684
campo de longitud total, 684
campo de opciones, 685
campo de protocolo, 685
campo de tipo de servicio, 684
campo de versión, 684
campo tiempo de vida, 684
formato, 684
fragmentación, 684
ICMP, 699
IP, 683, 697
multienvío, 686
suma de comprobación de la cabecera, 685
TCP/IP, 681
UDP, 698
datos a ráfagas, 424, 507
Frame Relay, 507
el cubo con escape, 519
línea T, 507
datos analógicos, 62
datos digitales, 62, 101
datos en tiempo real, *Frame Relay*, 511
datos urgentes, 641
Frame Relay, 524
DB-15, 152, 364
iniciación, 153
DB-25, 140, 142, 146
DB-37, 147
EIA-232, 139, 140
patillas y receptáculos, 140
DB-37, 147
EIA-449, 152
funciones de conexión, 147
DB-9, 142
EIA-449, 149
DCE, 137, 138, 511
compatibilidad, 154
DLCI, 514
LCN, 491
módem, 153
Frame Relay, 511
X.25, 487
DDS, 241, 242, 244
DS-0, similitud con, 243
línea digital dedicada, 242
RDSI, 456
DEL, 754
en BSC, 326
transparencia de datos BSC, 326
delimitador de inicio. *Véase* SD
delimitador de trama inicial. *Véase* SFD
demodulador, 226
codificador, 154
función, 154
demultiplexación, 226
filtros, 226
demultiplexor, 223
bit de trama, 232
función, 230
relleno de bits, 232
TDM asíncrono, 235
TDM, 229
DEMUX. *Véase* demultiplexor
densidad
fibra óptica, 191
modo único, 191
DES, 658
como método de cifrado estándar, 658
diagrama del método, 658
descarga, 169
definición, 167
módem de 56K, 168
descifrado, 651, 652
descomposición de la señal digital, 76
desconexión,
códigos, 340
trama U, 341
descriptor de tráfico
algoritmo de velocidad de celdas generalizado, 559
clase de servicio, 559
QoS, 559
Desemsamblador/Ensamblador de Paquetes. *Véase* PAD
desplazamiento de la fase, 68
Detección de Colisión. *Véase* CD
detección de error, 263, 265
BCC, 323
CRC, 270

estados de bit, 277
Ethernet, 361
hardware, 775
HDLC, 336
necesidad de, 263
suma de comprobación, 274
VRC, 267
DHCP, 713
BOOTP, 713
diálogo, 647
marcado, 426
nivel de sesión, 648, 649
punto de sincronización secundario, 649
DIB, 671
estructura, 671
formato de entrada, 671
dibit, 109, 111
baudios, 112
V.22bis, 161
diccionario, 787, 791
digital *vs* analógico, 61
binario, 3
dígito, 755
binario, 3
más significativo, 755
menos significativo, 755
ordenación de, 755
Diodo de Inyección Láser (ILD), 193
Diodo Emisor de Luz. *Véase* LED
dirección basada en proveedor, 800
dirección de destino, 377
encaminador, 601
dirección de estación, 695
dirección de Internet. *Véase* dirección IP
dirección de multienvío, 697, 798
direcciones disponibles, 697
formato, 697
dirección de puerto, 698
dirección de red, 689
dirección extendida, 525
dirección física
ARP, 695
dirección IP y, 695
jurisdicción local, 695
NIC, 695
RARP, 696
dirección fuente. *Véase* SA
dirección IP,
ARP, 695, 696
campo de clase, 686
clase A, 686
clase B, 686
clase C, 686
clase D, 686
clase E, 686
conexión de nodo, 689
datagrama IP, 697
determinación de clase, 686
dirección de red, 685
direcciones múltiples, 689
estructura, 686
formato, 686
identidad de subred, 692
identificador, 685
jerarquía, 692
jurisdicción universal, 695
multienvío, 686
necesidad para RARP, 696
notación decimal con punto, 687
RARP, 696
tres niveles de jerarquía, 692
dirección unidestino, 800
dirección, 361
muestreo/selección, 293
punto de servicio, 49
trama de datos BSC, 322
direccionamiento
asíncrono TDM, 235
Ethernet, 361
FDDI, 381
punto de servicio, 631
Red en anillo con paso de testigo, 375
TDM, 232
direccionamiento de punto de servicio, 49
direccionamiento múltiple, 828
disciplina de la línea, 289
disciplina de una línea, 289, 290
concepto, 290
configuración de la línea, 290
direcciones, 293
ENQ/ACK, 290
establecimiento del enlace, 290
muestrear/seleccionar, 291
muestreo, 293
objetivo, 290
protocolo, 317
discreto, 62, 247
discriminante del protocolo, 471
Diseño Asistido por Computadora (CAD), 7
dispositivo de comunicación entre redes, 593, 594
internet, 681
dispositivo de conexión, 48
distorsión,
fibra óptica, 191
modo único, 191
multimodo con índice de pasos, 191
señal compuesta, 207
sistema telefónico, 239
DLCI, 512, 514
conmutación, 514
dentro de la red, 514
DTE, 512
ejemplo de conmutación, 514
Frame Relay, 512, 517
DMT, 247, 248
FDM, 247
QAM, 247
VDSL, 249
DNS, 714
dominio de país, 715
dominio genérico, 714
dominio inverso, 716
Internet, 714
secciones, 714
documento activo, 738
código binario, 739
ejemplo, 739
formato binario, 739
lugar del cliente, 739
lugar del servidor, 739
documento dinámico, 737
URL, 737
documentos estáticos, 735
dominio
genérico, 714
inverso, 716
país, 715
dominio de colisión,
Ethernet, 368
Fast Ethernet, 368
dominio de frecuencia, 73
DPSK, 161
DQDB, 397
ATM, 403
bit de reserva, 401
cabecera, 403
campo CRC, 404
campo de acceso, 403
campo de dirección, 404
campo de la ranura previamente leída, 404
campo de petición, 404
campo de prioridad, 404
campo de tipo de ranura, 404
campo de tipo, 404
campo ocupado, 403
campo reservado, 403
captura de ranura, 401
cola distribuida, 397, 400
configuración del anillo, 403
estación de entrada, 398
estación de salida, 398
estructura de la cola, 402
fallo, 403
generación de ranura, 398, 402
Identificación de Canal Virtual (VCI), 404
implementación, 404
método de acceso, 397
nivel físico, 404
nivel MAC, 403
niveles, 403
operaciones de cola, 400
ranura de transmisión, 398
reserva de ranura, 400
seguimiento de la reserva, 400
selección de bus, 398
tamaño de la ranura, 403
testigo virtual, 401
topología, 397
tráfico direccional, 397
DS, 241, 243
jerarquía digital, 243
servicio DS-0, 243
servicio DS-1, 243
servicio DS-2, 243
servicio DS-3, 243
servicio DS-4, 243
DSA, 671
DUA, 671
opciones de función, 671
DSAP, 357
DSL, 246
DSU, 241
conmutado/56, 241
coste, 241
forma de marcado, 241
para DDS, 242
DSU/CSU, 245
DTE, 137, 138, 139
analogía, 137
compatibilidad, 154
definición, 137
DLCI, 514
Frame Relay, 511
LCN, 491
SVC, 513
TE1, 461
X.25, 487
y DCE, 137
DUA, 671
concepto, 671
DSA, 671
dúplex, 28, 29, 30, 157, 328, 336
ASK, 155
baudios FSK, 157
módem ASK, 155
módem FSK, 157
duplicidad, 30
duración del bit, 103

EHF, 194, 199
EIA, 12, 140, 141, 143
aspectos de fabricación, 12
DTE-DCE, estándar, 139
interfaces, 12
EIA-232, 139, 140, 141, 142, 143
blindaje, 143
codificación, 140
configuración, 140
control, 140
conversión digital a analógica, 143
DCE listo, 143
defectos, 145
detector de señal de línea recibido, 143
DTE listo, 143
EIA-449, 148, 152
envío de datos, 140
especificación funcional, 142
especificación mecánica, 140
especificaciones eléctricas, 140
funciones, 141
implementación DB-25, 142
implementación DB-9, 142
módem nulo, 145
petición para enviar, 143
portadora, 143
rango de voltaje, 140
señal de tierra, 143
tasa de bit, 141

temporización, 140
transferencia de datos, 143
X.25, 488
EIA-442, 139
EIA-449, 12, 139, 146
compatibilidad con EIA-232, 147
EIA-232, 152
especificaciones eléctricas, 149
especificaciones funcionales, 146
especificaciones mecánicas, 146
estructura, 148
patillas dobles, 148
patillas categoría I, 148
patillas categoría II, 148
RS-422, 149
RS-423, 149
y EIA-232, 147
EIA-530, 152
funciones de las patillas, 152
razones para, 152
elemento de información, 473
direccionamiento, 474
tipos, 474
Elementos de Servicios Comunes para Manejar la Información. *Véase* CMISE
e-mail, 722
MHS, 666
emisor, 3, 518
control de flujo, 295
Emulación de Red de Área Local. *Véase* LANE
en trama de datos BSC, 321
encadenamiento en margarita, 366
encaminador, 48, 593, 601
bucle, 604
como estación de red, 601
determinación de camino, 603
determinación de ruta, 603
dirección de nivel de red, 600
dirección IP, 689
direcciones, 600
función, 602, 604
internet, 681
límite de saltos, 602
lógica, 604
modelo OSI, 593
multiprotocolo, 605
niveles OSI, 600
paquetes, 600
pasarela, 604
subred, 691
tabla de encaminamiento, 603
tiempo de vida de paquete, 604
encaminamiento
camino más corto, 602
contador de saltos, 602
coste mínimo, 602
definido más corto, 602
determinación de ruta, 603
dinámico, 603
estado del enlace, 608
estático, 603
nivel de red, 48
pasos, 691
vector distancia, 608
encaminamiento basado en el estado del enlace, 608, 614
árbol del camino más corto, 618
base de datos, 617
comparado con encaminamiento basado en el vector distancia, 614
coste, 614, 618
coste del encaminador, 615
coste del paquete, 614
determinación del coste del salto, 615
información del vecino, 616
información para compartir, 614
iniciación de la red, 616
inundación, 614
paquete de saludo, 616
encaminamiento con contador de saltos, 602
encaminamiento con vector de distancias, 604, 608
actualización de la tabla, 612
compartición de información, 609
conocimiento sobre toda la vecindad, 610
contador de saltos como coste, 615
coste, 608
datos duplicados, 612
encaminamiento a los vecinos, 609
identificador de puerto, 610
identificador de red, 610
información de la tabla, 610
red, 608
tabla, 610
encaminamiento desde el origen, 600
encapsulado, 4
TCP/IP, 681
enchufe, 140
energía electromagnética, 181
luz, 187
enfoque de circuito virtual, 424, 425
implementación, 425
enlace, 21, 22, 47
ascendente, 202
de microondas, 199
de salida, 202
dedicado, 423
longitud simbólica, 602
enmascaramiento, 692
concepto, 692
dirección de subred, 692
nivel a nivel de frontera, 694
nivel sin frontera, 694
subredes con, 692
subredes sin, 692
ENQ/ACK, 290
respuesta, 291
coordinación de transmisión, 290
enlace dedicado, 290
inicio de sesión, 291
mecanismo, 291
NAK, 291
pérdida de trama ENQ, 291
petición, 291
reconocimiento, 291

entrega
aspectos, 632
estación a estación, 46
origen a destino, 47, 48
punto a punto, 48
entrega de mensaje, 631
entrega extremo a extremo, 48, 631
entrega fuente a destino, 48
entrelazado,
construcción de tramas, 229
red de celdas, 535
TDM, 229
TDM síncrono, 229
envío multidifusión, 697
aplicaciones, 697
definición, 686
difusión, 686
dirección de multienvío, 697
envío unidestino, 697
EOT, 291, 749
en muestreo, 293
parada y espera, 296
Equipo Terminal de tipo 1. *Véase* TE1
Equipo Terminal de tipo 2. *Véase* TE2
Equipo Terminal de Circuito de Datos. *Véase* DCE
Equipo Terminal de Datos. *Véase* DTE
error, 632
bit único, 277
en BSC, 323
fuentes, 274
media de transmisión, 509
tipos, 274
error de ráfaga, 263, 264
corrección, 281
definición, 264
error en un único bit, 263, 277
definición, 263
frecuencia, 264
errores en varios bits, 264
ESC, 750
Escape de Enlace de Datos. *Véase* DEL
especificaciones eléctricas
Ethernet, 365
FDDI, 383
espectro, 73, 116
AM, 116
ASK, 104
FM, 117
espectro de frecuencia, 73
espectro electromagnético, 194
espectro significativo, 77
establecido, 540
establecimiento, 471
establecimiento de conexión, 638, 699
nivel de transporte, 638
pasos, 638
PVC, 427
SVC, 427
trama de control BSC, 326
establecimiento de modo
estación combinada, 339
estación primaria, 339
trama HDLC U, 340
estación AM, 116
estación combinada,
ABM, 330
configuración, 328
Estación de Asignación Única. *Véase* SAS
Estación de Conexión Dual. *Véase* DAS
estación monitor, 374
estación secundaria
definición, 328
HDLC, 328
estado de autenticación, 442
estado de establecimiento, 446
estado de red, 448
estado de terminación, 448
estados de transición, 437
Estándar de Cifrado de Datos. *Véase* DES
estándar de facto, 9
estándar de jure, 9
estándar propietario, 10
estándar X.500, 671
estándares, 2, 8, 9, 11, 12, 13, 139
categorías, 9
DTE,DCE, 139
IETF, 13
interfaz, 133
necesidad para, 9
no propietario, 10
propietario, 10
ratificación, 12
estrella, 22, 25
controlador central, 25
desventajas, 25
ventajas, 25
Estructura de Información de Gestión. *Véase* SMI
ETB, 750
BSC, 326
transparencia de datos, 326
Ethernet conmutado, 239
Ethernet gigabit, 366, 371
tasa de datos, 371
ethernet gruesa. *Véase* 10BASE5
Ethernet, 358
AUI, 364
cable coaxial, 187
cable, 363
campos, 361
clasificación RG, 187
conmutado, 366
conmutador, 367
CRC, 362
dirección IPv6, 801
direccionamiento, 360
direcciones físicas, 360
dominio de colisión, 368
especificación eléctrica, 361
especificaciones físicas, 362
estándares, 358
fast, 368
fino, 364
formato de trama, 361
grueso, 362
implementación, 362
método de codificación, 88

par trenzado, 365
PDU longitud/tipo, 362
preámbulo, 361
reconocimiento, 361
señales, 361
tasa de datos, 361
tipos nuevos, 366
topología, 362
trama 802.2, 362
trama MAC, 361
transceptor, 362
etiqueta, 737
dominio de país, 715
dominio genérico, 714
atributos, 737
formato, 737
etiqueta de flujo
IPv6, 796
procesamiento más rápido, 805
reglas de uso, 805
transmisión tiempo real, 805
ETX, 749
BSC, 323, 324
trama de datos BSC, 322
transparencia de datos, 326

fabricación, 7
Fabricación Asistida por Computadora (CAM), 7
facilidades, 496
fallo, 6
fase, 68, 114
AM, 114
ASK, 103
definición, 68
FM, 118
FSK, 106
onda sinusoidal, 64, 68
PM, 119
PSK, 107
QAM, 111
variación de, 101
y valor de bit, 109
fase/amplitud sin portadora. *Véase* CAP
fast Ethernet, 366, 368
100-BASE-FX, 369
100-BASE-T4, 369
100-BASE-TX, 369
dominio de colisión, 368
Ethernet gigabit, 371
tasa de datos, 368
FCC, 13
responsabilidades, 14
telefonía celular, 202
FCS, 336
HDLC, 337
FDDI, 386
anillo dual, 386
anillo primario, 386
anillo secundario, 386
Control de Acceso al Medio (MAC), 383
Control de Enlace Lógico (LLC), 384
CRC, 385
DAS, 387
delimitador final, 385
delimitador inicial, 384
Dependencia del Medio Físico (PMD), 383
direccionamiento, 383
envoltura, 388
especificación eléctrica, 383
fallo, 388
formato de trama, 383
implementación, 386
LLC, 384
MAC, 384
método de acceso, 380
MIC, 387
nivel físico, 383
niveles, 383
nodos, 387
NRZ-I, 383
Registro de Asignación Síncrona (SA), 380
registro de tiempo, 380
SAS, 387
señales, 383
tasa de datos, 383
Temporizador de Almacenamiento de Testigo (THT), 381
Temporizador de Rotación del Testigo (TRT), 381
Tiempo de Rotación del Testigo al Objetivo (TRT), registro de, 380
Tiempo Máximo Absoluto (AMT), registro de, 380
trama de control, 385
trama de datos asíncrona, 380
trama de datos síncronos, 380
transparencia de datos, 383
FDM, 224
AM, 225
aproximación de datagrama, 424
bandas de guarda, 225
canales, 225
cuándo usar, 224
dominio de frecuencia, 225
dominio del tiempo, 225, 226
FM, 225
portadora, 224
proceso, 225
sistema telefónico, 237, 239
FDX, 157
FECN, 517
receptor, 518
fiabilidad, 5, 6
catástrofe, 6
frecuencia de fallos, 6
LRC, 270
LRC, 6
tiempo de recuperación, 6
fibra hasta el bordillo. *Véase* FTTC
fibra óptica, 187
ancho de banda, 193
atenuación, 193
célula fotosensible, 193
composición, 192
conector, 193
coste, 194

desventajas, 194
estandarización, 573
fragilidad, 194
FTTC, 249
fuente de luz, 193
láser, 193
mantenimiento/instalación, 194
modos de propagación, 189
multimodo, 190
multimodo de índice gradual, 191
núcleo, 192
precisión de la conexión, 193
reflexión, 189
resistencia al ruido, 193
revestimiento, 192
tamaños, 192
vaina, 192
velocidad de propagación, 209
ventajas, 193
WDM, 227
fibra, 227, 249, 573
FIFO, 400
fin de transmisión. *Véase* EOT
final, 240
finito, 712
firma digital, 663
flujo, 699
FM, 114, 117, 119
ancho de banda, 118, 119
espectro, 118
estación, 119
formato de trama,
Ethernet, 361
FDDI, 383
Foro ATM, 13, 533
Foro de *Frame Relay*, 13
foros, 10, 12
fotodiodo, 193
FRAD, 525
Frame Relay, 525
fragmentación, 684
frecuencia, 64, 67, 98, 114
cero, 68
unidades, 66
alta, 67
AM, 116
ASK, 103
baja, 67
como tasa de cambio, 67
dispositivo receptor, 103
espectro, 73
FM, 117
infinita, 68
inversa, 67
onda seno, 64, 67, 69
período, 65
PM, 119
PSK, 107
señal portadora, 103
variación de, 101
frecuencia alta. *Véase* HF
frecuencia de emergencia, 197
frecuencia de portadora, 103
frecuencia de radio, 181
frecuencia extremadamente alta. *Véase* EHF
frecuencia media. *Véase* MF
frecuencia muy alta. *Véase* VHF
frecuencia muy baja. *Véase* VLF
frecuencia super alta. *Véase* SHF
frecuencia ultra alta. *Véase* UHF
FRMR, 341
frontera, 694
FSK, 101, 106, 107, 109, 111, 155, 157
ancho de banda, 106
factor límite, 106
frecuencia, 106
módem, 157
modulador, 154
ruido, 106
tasa de baudios, 106, 157
FTAM, 53, 666, 667
acceso asimétrico, 667
almacenamiento en archivos virtuales, 668
archivo virtual, 668
tipos de atributos, 669
FTP, 720
componentes clientes, 720
componentes del servidor, 720
conexiones, 720
HTTP, 730
FTTC, 249
cable de televisión, 249
sistema telefónico, 249
fuentes de error, 683
full-dúplex, 30, 46
ENQ/ACK, 290
función del nivel físico, 45

generador
CRC, 271, 272, 278
suma de comprobación, 274
VRC, 776
gestión de errores,
nivel, 263
nivel de enlace *vs* nivel de transporte, 606
nivel de transporte, 263, 632
protocolo, 317
GFI, 493
grafo con peso, 811
Grupo de Expertos en Imágenes en Movimiento (MPEG), 666, 674
Grupo de Trabajo de Ingeniería en Internet (IETF), 13
grupo Jumbo, 240
grupo maestro, 240
grupo multimodo con índice gradual, 239
ancho de banda, 239
sistema telefónico, 239
grupo para los protocolos de mensajes de internet. *Véase* IGMP
HDB3, 87, 92, 93, 94
cadena de ceros, 94
patrón, 94
violación, 94

HDLC, 327, 328, 330, 331, 333, 335, 336, 337, 338, 340, 342, 344
ABM, 330
ARM, 330
bits de relleno, 331
campo de control, 334
campo de control PDU, 357
campo de dirección, 334
campo de delimitación, 331, 332
campo N(s), 334
configuración, 328
configuración balanceada, 329
configuración de línea, 329
configuración simétrica, 329
configuración sin balancear, 328, 329
control de error, 334
cualidades del sistema, 328
definición, 328
detección de error, 336
dirección de estación, 333
estación combinada, 328
estación primaria, 328
estación secundaria, 328
flujo de control, 333
flujo de datos para relleno de bit, 332
formato de trama, 333
Frame Relay, 516
ITU-T, 328
LAN, 355
LAPB, 470
LAPD, 346, 470
LAPM, 346
modo, 330
modo de comunicación, 330
modo de respuesta normal, 330
modo de transmisión, 330
NRM, 330
patrón de sincronización, 331
PDU, 357
PPP, 439
RNR, 338
tipos de estación, 328
tipos de tramas, 335
trama, 337
trama I, 335
trama U, 335
transmisión abortada, 333
transparencia de datos, 331
transparencia, 331
X.25, 488
y otros protocolos, 328
HDSL, 248
2B1Q, codificación, 248
SDSL, 248
HDX, 157
Hertz, 66
hipermedia, 733
hipertexto, 733
punteros, 733
sistemas de información, 733
HTML, 734, 735
atributo, 737
documento ASCII, 736
estructura de página web, 736
etiqueta, 737
navegador, 736
HTTP, 729
cabecera de tipo MIME, 730
cliente, 730
concepto, 730
formato de mensaje, 730
localizadores, 731
mensaje de respuesta, 730
órdenes enviadas, 730
servidor, 730
similitud con FTP, 730
similitud con SMTP, 730
tipos de mensajes, 730
transferencia, 729
URL, 731
www, 729
Hz, 66

I.430, 464
I.431, 464
ICMP, 682, 696, 697
datagrama no entregable, 697
desafío, eco de, 697
destinatario del mensaje, 697
función, 697
gestión de errores, 697
mensajes, 697
y UDP, 698
ICMPv6, 795, 807
identificación de fallos, 24
identificación de red, 688
identificador de acceso, 685
Identificador de Camino Virtual. *Véase* VCI
Identificador de Circuito Virtual. *Véase* VCI
Identificador de Conexión de Enlace de Datos. *Véase* DLCI
Identificador de Equipo Terminal. *Véase* TEI
Identificador de Formato General. *Véase* GFI
Identificador de Punto de Acceso a Servicio. *Véase* SAPI
identificador de subred, 690
Identificador de Tipo de Paquete. *Véase* PTI
IEEE, 357
proyecto, 355
IETF, 13
IGMP, 682, 697
ICMPv6, 795
objetivo, 697
protocolo IP, 697
ILD, 193
incorporación de confirmación, 336, 337
X.25, 494
índice de refracción, 191
información, 61
analógica y digital, 61
medio de transmisión, 61
tipos, 61
transmisión, 61
información de control, 152
protocolo orientado a caracteres, 320

Información de Gestión Local. *Véase* LMI
Instituto Americano de Estándares Nacionales (ANSI), 10, 11
Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), 10
intercambiador de correo, 724
Intercambio de Ranura de Tiempo. *Véase* TSI
intercambio no numerado, 339
interconectividad, 9
interfaces EIA, 158
Interfaces Red a Red. *Véase* NNI
interfaz, 133, 139
características, 133
dispositivo de enlace, 133
DTE/DCE, 139
EIA-232, 139
Interfaz de Fibra para Datos Distribuidos. *Véase* FDDI
Interfaz de Frecuencia Básica. *Véase* BRI,
Interfaz de Red de Abonado. *Véase* SNI
Interfaz de Red de Usuario. *Véase* UNI
Interfaz de Unidad de Conexión. *Véase* AUI
Interfaz EIA-232, 139
Interfaz Primaria. *Véase* PRI
interfaz S, 466
interfaz U
codificación, 466
medio, 466
interferencia, 185
interferencia electromagnética, 183
Internet, 1, 13, 33, 593, 681, 687
computadoras, 681
definición, 681
direccionamiento, 685
DNS, 714
e-mail, 721
información pedida por cada computadora, 713
objetivo, 717
programas de aplicación, 711
TCP/IP, 681
interoperabilidad, 9
intérprete, 734
interruptor, 27
función, 364
interruptor vampiro, 364
intervalo del bit, 74
intervalo, transmisión asíncrona, 134
inundación, 614
Inversión Alterna de Marca. *Véase* AMI.
ionosfera, 196
densidad, 196
MF, 197
onda HF, 197
IP, 54, 681, 683
características, 683
datagrama de usuario, 699
datagrama, 684
direccionamiento, 685
encaminamiento, 696
entrega mejor posible, 683
fiabilidad, 683
Siguiente Generación, 795
protocolo estación a estación, 698
protocolo de nivel de red, 54
protocolo sin conexión, 683
protocolos, 683
sin conexión, 683
ventajas, 683
y TCP, 698
IPCP, 442
formato de paquete, 445
tipos de paquete, 446
IPv4, 684
comparado con la cabecera de IPv6, 805
deficiencias, 795
IPv6, 795
problemas con espacio de direcciones, 795
problemas de seguridad, 795
problemas tiempo real, 795
IPv6, 796
ampliación del protocolo, 796
asignación de prioridades, 803
asignación de recursos, 796
cabecera base, 801
cabecera de ampliación, 801
campo de dirección de destino, 803
campo de dirección del origen, 803
campo de etiqueta de flujo, 802
campo de identificación de abonado, 800
campo de identificación de registro, 800
campo de identificación del proveedor, 800
campo de límite de saltos, 803
campo de prioridades, 803
campo de versión, 801
campo identificador de la subred, 800
campo identificador de nodo, 827
campo siguiente cabecera, 802
campos de direcciones, 798
características nuevas, 796
categorías de direcciones, 798
ceros consecutivos, 797
comparado con la cabecera de IPv4, 805
dirección basada en el proveedor, 800
dirección con raya inclinada, 797
dirección unidestino, 798
direcciones abreviadas, 797
direcciones de multienvío, 798
direcciones, 797
espacio de direcciones, 796, 798
estructura jerárquica, 801
etiqueta de flujo, 802
flujo de paquetes, 805
formato de la cabecera, 796
longitud del campo de carga útil, 802
notación abreviada de direcciones, 797
notación hexadecimal dos puntos, 797
opciones nuevas, 796
otros tipos de direcciones, 801
paquete, 801
prefijo de tipo de dirección, 798
prioridad de control de tráfico, 803
prioridad de tráfico de datos no esperado, 804
prioridad de tráfico interactivo, 804
prioridad en tráfico no específico, 804
prioridad para atender al tráfico de datos masivo, 804
protocolos de encaminamiento, 795

secuencias de ceros, 797
seguridad, 796
tráfico, 803
tráfico con control de congestión, 803
tráfico sin control de congestión, 804
ISO 8887, 466
ISO, 10, 11, 13
CMIP, 671
HDLC, 327
ITB
BSC, 321
trama de datos BSC, 321
transparencia de datos, 326
ITU-T, 11, 12
ITU-T, módems, 158
ATM, 533
CMIP, 671
DTE-DCE, estándares, 139
estándares de módem, 158
HDLC, 328
MHS, 666
RDSI, 462
V.42bis, 164
X.500 estándar, 671

Java, 739
jerarquía del sistema telefónico analógico, 239

Kermit, 319
carácter de control, 320
programa de emulación de terminales, 320
protocolo de transferencia de archivos, 319
XMODEM y, 319

LAN en estrella, 366
LAN, 12, 31
ATM, 579
comparación, 388
control de enlace, 355
dispositivos, 593
Frame Relay, 511
limitación del tamaño, 362
medios, 31
NT2, 461
objetivo, 31
puente, 600
SMDS, 405
tamaño, 31
TCP/IP, 681
velocidad de datos, 32
LANE, 561
LAP, 328, 345
LAPB, 345
configuración, 345
RDSI, 346, 464, 470
X.25, 488, 489
LAPD, 345, 346, 470
campo orden/respuesta, 470
campo SAPI, 470
campo TEI, 470
confirmación, 470
direccionamiento, 470
LAPF, 516
LAPM, 164, 345, 346
HDLC, 346
láser, 4
LCN, 491, 492, 493
asignación, 492
global, 492
local, 492
LCP, 440
campo código, 440
campo de información, 440
campo de longitud, 440
campo de protocolo, 440
campo ID, 440
formato, 440
función, 440
PPP, 440
tipos de paquetes, 440
LEC, 561
LED, 193
Lempel-Ziv-Welch. *Véase* LZW
Lenguaje de Marcado de Hipertexto. *Véase* HTML
LF, 197, 749
línea condicionada, 239
Línea de Abonado Digital con Muy Alta Velocidad de bits. *Véase* VDSL
Línea de Abonado Digital Simétrica. *Véase* SDSL
línea de cuatro cables, 158
línea de dos cables, 158
línea de salida, 26
línea de servicio, 237
Línea de Abonado Digital Asimétrica. *Véase* ADSL
Línea de Abonado Digital de Alta Tasa de Bits. *Véase* HDSL
Línea de Abonado Digital. *Véase* DSL
línea E, 245
línea T
capacidad, 244
datos a ráfagas, 507
división de capacidad, 244
fraccional, 244
multiplexación, 244
PCM, 97
relación DS, 243
tamaño de trama, 244
tasa de datos, 507
trama, 244
transmisión analógica, 244
línea T-1,
bit de sincronización, 244
sobrecarga, 244
tasa de datos, 244
línea telefónica, 155
ancho de banda, 155, 157
capacidad, 210
LLC, 355, 356, 357
direccionamiento, 357
FDDI, 385
nivel de enlace de datos, 357

PDU, 362
Proyecto 802.2, 356, 357
LMI, 526
comprobación del estado, 526
mecanismo de multienvío, 526
mecanismo mantenerse vivo, 526
localización, 204
Localizador de Recursos Uniforme. *Véase* URL
longitud de onda, 209
LRC, 266, 268, 269
bit final, 779
cálculo, 268, 779
comprobador, 270, 779
CRC, 270
en BSC, 323
error indetectable, 269, 276
fiabilidad, 269
generador, 778
hardware, 778
rendimiento, 269
VRC, 268
LSP, 616
luz, 181, 187
ángulo crítico, 188
ángulo de incidencia, 188
ángulo de refracción, 188
cambio en densidad, 188
fibra óptica, 193
haces multimodo de índice escalonado, 190
naturaleza de la, 193
rayo incidente, 188
reflexión, 189
refracción, 188
velocidad, 188
luz infrarroja, 181
luz ultravioleta, 181
luz visible, 181
LZW, 665, 787
algoritmo de compresión, 789
algoritmo de descompresión, 791
buffer de recepción, 792
buffer del emisor, 788
buffer temporal, 792
componentes, 787
descompresión, 791
diagrama de flujo de la compresión, 788
diagrama de flujo de la descompresión, 792
diccionario del receptor, 790, 791
frecuencias de símbolos, 787
historia, 787
sitio del emisor, 787
sitio receptor, 971

MA, 359
M-ABORT, 672
MAC, 355, 357, 357
DQDB, 403
FDDI, 386
módulos, 356
protocolos específicos, 357
macrocomputadora, 2
M-ACTION, 673
malla, 22
definición, 23
desventajas, 24
para redes grandes, 413
puerto, 23
troncal, 24
ventajas, 24
MAN, 32
definición, 397
LAN, 32
propietario, 32
TCP/IP, 681
topología en malla, 405
uso de, 32
Manchester diferencial, 88, 91, 92
cambio de señal, 91
Red en anillo con paso de testigo, 377
sincronización, 91
Manchester, 88, 91, 92
Ethernet, 357
más alta, 507
MAU, 363, 379
M-CANCEL-GET, 673
M-CREATE, 673
M-DELETE, 673
medio de transmisión, 3, 4
medio guiado, 181
cable de fibra óptica, 182
conductor, 182
definición, 181
par trenzado, 181
medio no guiado, 181, 194
medio sin cable, 194
medios, 5, 181
comparación de, 211
mejor entrega posible, 683
Memoria de Acceso Aleatorio. *Véase* RAM
Memoria de Sólo Lectura (ROM), 713
mensaje, 3
nivel de red, 471
TCP/IP, 681
mensajes electrónicos, 7
mensajes RDSI,
alerta, 472
conexión, 472
establecimiento, 471
procesamiento de llamada, 472
progreso, 472
reconocimiento de establecimiento, 472
método de acceso
CSMA/CD, 359
DQDB, 397
Ethernet, 359
FDDI, 380
métodos de clave pública, 659
métodos de conversión, 86
M-EVENT-REPORT, 673
MF, 197
M-GET, 673
MHS, 666
almacenamiento de mensaje, 666
almacenar y reenviar, 666

analogía, 666
buzón de correo, 666, 667
correo electrónico, 666
estructura, 667
formato de mensaje, 667
MTA, 667
series X.400, 666
Sistema de Transferencia de Mensaje (MTS), 667
UA, 667
MIB, 727
agente, 728
árbol identificador de objetos, 728
categorías de objetos, 728
microondas, 21
propagación, 199
satélite, 201
terrestre, 199
microsegundo, 65
milisegundo, 65
MIME, 725
ampliación a SMTP, 725
ASCII NVT, 725
concepto, 725
M-INITIALIZE, 672
modelo cliente-servidor, 711
acceso remoto, 718
programa de aplicación, 712
relaciones cliente-servidor, 712
modelo OSI, 10, 41, 44
arquitectura, 41
dispositivos, 593
encaminador, 600
funciones del nivel, 45
interfaz, 43
MHS, 666
mnemónico, 43
nivel de aplicación, 666
nivel de enlace de datos, 46
nivel de presentación, 51, 651
nivel de red, 47
nivel de sesión, 647
nivel de soporte de red, 43
nivel de soporte de usuario, 44
nivel de transporte, 48, 640
nivel físico, 45
niveles, 41
niveles superiores, 647
organización del nivel, 43
pasarela, 604
procesos igualitarios, 43
puente, 596
resumen, 54
servicios de transporte, 641
subgrupo, 43
TCP/IP, 54, 681, 711
transparencia, 43
visión, 44
módem, 164
32terbo, 163
ASK, 155
Bell, 158
cable, 168
compatibilidad Bell e ITU-T, 161
compatible-Hayes, 164
doble-velocidad, 160
EIA-232, 143
enlace de comunicaciones en, 154
estándares, 158, 161
función, 153
inteligente, 164
ITU-T, 158, 161
limitación de la velocidad de datos, 165
protocolo asíncrono, 317
RDSI, 454
serie 104/113, 159
serie 201, 160
serie 202, 160
serie 208, 160
serie 209, 160
serie 212, 160
tradicional, 165
V.22bis, 161
V.32, 162
V.33, 164
V.34, 164
V.42, 164
V.42bis, 164
V32bis, 163
velocidad de transmisión, 154
velocidad, 155
módem 56K, 165
carga, 168
limitación, 168
salida, 166
velocidad de carga, 165
módem compatible Hayes, 164
módem inteligente, 164
módem nulo, 144
conexiones cruzadas, 145
conexiones, 145
diferencias con el EIA-232, 146
interfaz, 144
necesidad para, 144
módem QPSK, 169
módems Bell, 158
serie 103/113, 159
serie 201, 160
serie 202, 160
serie 208, 160
serie 209, 160
serie 212, 160
modo, 331
modo balanceado, 150
Modo Balanceado Asíncrono. *Véase* ABM
Modo de Respuesta Asíncrono. *Véase* ARM
Modo de Respuesta Normal. *Véase* NRM
Modo de Transferencia Asíncrono. *Véase* ATM
modo de transmisión, 21, 28, 319
modo sencillo
densidad, 191
fibra óptica, 191
modulación, 103
ADSL, 247
AM, 114
codificada trellis, 162
digital a analógica, 101

DMT, 247
FM, 117
PM, 119
Modulación de Amplitud en Cuadratura. *Véase* QAM
Modulación de Fase. *Véase* PM
Modulación de Frecuencia. *Véase* FM
Modulación en Amplitud. *Véase* AM
Modulación por Amplitud de Pulso. *Véase* PAM
Modulación por Codificación de Pulsos. *Véase* PCM
Modulación por Desplazamiento de Fase. *Véase* PSK
modulador, 154
MS, 667
M-SET, 673
MTA, 667, 722, 724
cliente, 724
funciones, 722
funciones de retransmisión, 722
Sendmail, 724
servidor, 724
M-TERMINATE, 672
MTSO, 203
función, 203
recepción de una señal, 204
transferencia intercelular, 204
transmisión de una señal, 204
muestrear y almacenar, 96
muestreo, 96, 294, 342
multiconexión, 22
multietapa, 544
multimodo de paso índice, 190
de índice escalonado, 189
fibra óptica, 189
multiplexación, 223
aplicación, 237
ascendente, 636
BRI, 467
definición, 223
descendente, 637
entrelazado, 229
explícito, 462
implícito en BRI, 467
inserción de bits, 232
inversa, 236
muchos a uno/ uno a muchos, 224
nivel de transporte, 638
problema de capacidad, 223
red celular, 536
sistema telefónico, 237
TDM asíncrono, 233
Multiplexación por División de Frecuencia. *Véase* FDM
Multiplexación por División de Longitud de Onda. *Véase* WDM
Multiplexación por División en el Tiempo. *Véase* TDM
multipunto, 21, 22, 26
configuración no equilibrada, 328
definición, 22
direccionamiento, 293
espacialmente compartido, 22
muestrear/seleccionar, 291
muestreo, 293
tiempo compartido, 22
multitono discreto. *Véase* DMT
MUX. *Véase* multiplexación.
N(R)
trama HDLE S, 338
trama REJ, 338
trama SREJ, 338
NAK, 294
ARQ en ventana deslizante, 301
ARQ selectivo-rechazo, 306
control de errores de enlace de datos, 300
en muestreo, 294
en XMODEM, 318
perdido, 300, 302, 308
ventana deslizante, 305
nanosegundo, 65
navegación por radio, 197
navegador, 732, 734
arquitectura, 733
componentes, 733
controlador, 734
documento dinámico, 737
HTML, 731
programa cliente, 734
NCP, 445
NIC, 360, 361, 365
10BASE2, 365
cable AUI, 364
dirección de estación, 695
dirección física, 695
ethernet, 360
nivel ATM,
cabecera de corrección de error, 556
cabecera para UNI, 554
campo VPI, 555
control de congestión, 555
control de flujo genérico (GFC), 555
control de nivel de flujo UNI, 555
formato de cabecera, 554
nivel de control de flujo NNI, 555
prioridad de pérdida de células, 555
tipo de carga, 555
VCI, 555
VPI, 555
Nivel de Adaptación de Aplicación. *Véase* AAL
Nivel de Adaptación Eficiente y Sencillo. *Véase* SEAL
nivel de aplicación, 45, 666
como combinación de niveles, 647
manipulación de archivos, 53
responsabilidades, 51
servicios de correo, 53
servicios de directorio, 54
servicios, 53
TCP/IP, 54, 681, 711
nivel de enlace de datos, 46, 300, 317
ARQ, 300
comparado con el nivel de transporte, 630
control de acceso, 47
control de errores, 46, 289, 300
control de flujo, 46, 289, 295
direccionamiento, 46, 631
disciplina de línea, 290
dispositivos, 593
función, 46
gestión de errores, 263, 633
LLC, 357

PPP, 439
protocolo, 317
Proyecto, 355
responsabilidades, 46
subniveles, 355
trama de control BSC, 326
tramas, 46
y nivel físico, 630
nivel de paquete, 490
función, 490
X.25, 488
nivel de presentación, 51, 651
ASN.1, 674
cifrado, 52, 652
compresión, 53
compresión de datos, 664
descifrado, 652
funciones, 651
responsabilidades, 51
traducción, 52, 651
nivel de red
canal RDSI D, 471
direccionamiento lógico, 47
direccionamiento, 631
encaminamiento, 48
entrega, 630
no fiable, 640
paquete, 47
proyecto, 355
responsabilidades, 47
TCP/IP, 54, 681, 682, 695
nivel de red con error residual, 640
nivel de red perfecto, 640
nivel de red, TCP/IP, 681
nivel de sesión, 647
comunicación del nivel de transporte, 648
comunicación muchos a uno, 648
comunicación uno a uno, 648
concepto, 647
control de diálogo, 51
desconexión, 648
diálogo, 649
ejemplo de desconexión, 648
función, 648
interacción de nivel de transporte, 648
manejador de problema de nivel superior, 647
PDU, 650
punto de referencia, 649
punto de sincronización, 649
responsabilidades, 51
servicios, 648
sincronización, 51
vs nivel de transporte, 697
y nivel de transporte, 631
y programas de aplicación, 647
nivel de trama, 490
X.25, 488
nivel de transporte, 629, 697
asignación de crédito, 641
bytes en ventana deslizante, 636
clases, 639
CLTS, 642
como enlace, 629
comparado con el nivel de enlace de datos, 639
comunicación en el nivel de sesión, 648
conexión, 49, 638
control de conexión, 50
control de duplicados, 634
control de errores, 48, 50, 642
control de flujo, 50, 635
control de pérdida, 634
control de secuencia, 633
COTS, 641
desconexión, 648
dirección de puerto, 698
direccionamiento de punto de servicio, 49
direccionamiento, 631
entrega, 631
entrega extremo a extremo, 630
entrega fiable, 632
fiabilidad, 649
funciones, 629, 630
gestión de errores, 263, 632
interacción con el nivel de sesión, 648
multiplexación, 637
nivel de red de errores residual, 640
nivel de red perfecto, 640
niveles superiores, 629
números de secuencia, 633
ordenación de datagramas, 424
papel, 629
protocolos, 630
reensamblado, 49
responsabilidades, 47, 49
segmentación, 49
segmentación y concatenación, 633
servicios, 630
TCP, 683
TCP/IP, 54, 681
terminación de conexión, 639
TP0, 640
TP1, 640
TP2, 640
TP3, 640
TP4, 640
transformaciones, 629
transmisión orientada a conexión, 638
ventana deslizante, 636
y nivel de sesión, 631
y niveles inferiores, 629
nivel de transporte orientado a conexión, 50
nivel de transporte sin conexión, 50
nivel físico, 44, 45
ATM, 556
dispositivos, 593
DQDB, 404
EIA 232-D, 317
Frame Relay, 516
función, 43
interfaces y medios, 45
interfaz, 133
modo de transmisión, 46
PPP, 438
PRI, 469
RDSI, 464
representación de bits, 45

señales, 61
tasa de datos, 45
topología, 45
transmisión, 289
X.25, 488
niveles OSI superiores, 647
NNI, 537
nodo, 4, 782
dirección IP, 690
en conmutación, 413
nombre de dominio, SMTP, 723
Notación de Sintaxis Abstracta Uno. *Véase* ASN.1
notación decimal con punto, 687
notación hexadecimal dos puntos, 797
Notificación Explícita de Congestión Hacia Delante. *Véase* FECN
Notificación Explícita Hacia Atrás de Congestión. *Véase* BECN
NRZ, 87, 88, 140
tipos, 88
NRZ-I, 88, 89, 90
FDDI, 355
sincronización, 90
transición, 89
NRZ-L, 88, 89, 90
NT1, 460, 461
analogía, 460
BRI, 467
construcción de trama, 467
entrelazado de byte, 460
función, 460
máximo dispositivo, 468
nivel físico en el modelo OSI, 460
NT2, 461
enlace NT1, 469
función, 461
niveles del modelo OSI, 461
núcleo, fibra óptica, 192
número con signo, 764, 765
complemento a dos, 767, 768
complemento a uno, 766
signo y magnitud, 765
número de abonado, 474
Número de Canal Lógico. *Véase* LCN
número de secuencia, 633
control de duplicados, 634
datagrama, 682
en control de pérdida, 634
función, 633
funciones, 640
Número de Terminal Nacional (NTN), 498
número sin signo, 765
NVT, 718
conjunto de caracteres, 719
necesidad para, 719
pila TCP/IP, 718
TELNET, 719
testigos, 719
Nyquist
frecuencia, 99
teorema, 99
velocidad de muestreo, 99
objeto, 652
onda coseno, 772
onda seno, 64, 772
amplitud, 64
características, 64, 69, 101
comparación de características, 79
descripción, 64
fórmula, 772
frecuencia, 64, 67
periodo, 64
series de Fourier, 772
unidad de frecuencia, 66
ondas de radio, propagación, 194
en el espacio, 194, 196
en el mar, 196
en superficie, 196
ionosférica, 194, 196
por haz óptico, 194, 196
troposférica, 194, 196
OOK, 104
operación de cola, 400
operador lógico AND, 694
OR exclusivo, 655
Organización Internacional de Estándares (ISO), 10, 41
OSI, 44, 641
gestión, 671
proyecto 802, 355
QAM, 111
relación con TCP/IP, 111

PAD, 499
página web, 735, 736
cabecera, 736
cuerpo, 736
estructura, 736
etiqueta, 736, 737
texto, 736
PAM, 96
en comunicaciones de datos, 96
muestrear y almacenar, 96
muestreo, 96
PCM y, 96
PAP, 443
pasos, 443
seguridad, 443
tipos de paquetes, 443
paquete, 424
campo de datos no usado, 534
definición, 424
encaminador, 600
formato, 424
información de control, 534
longitud, 424
sobrecarga, 534
tamaño, 534
tiempo de vida, 604
paquete celular de datos digitales (CDPD), 205
paquete de configuración
configure-Ack, 441
configure-Nak, 441
configure-Reject 441
configure-Request 441

Paquete de Estado de Enlace.
 Véase LSP
paquete de monitorización de enlace
 Código-rechazo, 442
 Petición-descarte, 442
 Petición-eco, 442
 Respuesta-eco, 442
paquete de petición, 695
paquete de terminación de enlace
 ACK de terminación, 441
 Petición de terminación, 441
Par de Cable Trenzado. *Véase* STP
par trenzado, 182, 185
 cable, 4
 categoría 1, 184
 categoría 2, 185
 categoría 3, 185
 categoría 4, 185
 categoría 5, 185
 componentes, 182
 FTTC, 249
 HDSL, 249
 sistema telefónico, 237
 ventaja de la fibra óptica, 193
 ventaja del trenzado, 182
Par Trenzado Apantallado. *Véase* UTP
parada y espera, 295, 296
 ARQ, 300
 control de flujo, 300
 desventajas, 296
 ventaja, 296
pasarela, 48, 593, 604
 conversor de protocolo, 604
 encaminador, 604
 función, 604
 Internet, 681
 niveles OSI, 604
paso de testigo, 373
 FDDI, 380
patilla, 140
PCM, 96, 98
 analógico a digital, 97
 carga, 167
 codificación digital/digital, 97
 cuantización, 97, 98
 descarga, 167
 factor limitante, 166
 PAM, 96, 97
 procesos, 97
 tasa de bits, 100
PDU, 357
 campo de control, 357
 direcciones, 357
 en Ethernet, 362
 formato, 357
 generación de, 362
 longitud, 362
 paso de testigo, 375
periódico, 63, 64
 forma de onda, 64
periodo, 63, 64
 frecuencia, 66
 inverso, 66
 seno, 64
 unidades, 63, 65
permutación, 654
 caja P, 656
 comprimida, 656
 expandida, 656
Petición de Repetición Automática. *Véase* ARQ
Petición/Reconocimiento. *Véase* ENQ/ACK
picosegundo, 65
plano de control, 464
plano de gestión, 464
plano de usuario, 464
PLP, 490
 bit más, 494
 campo P(R), 494
 campo P(S), 494
 confirmación de interrupción, 497
 confirmación de registro, 498
 confirmación de reinicio, 498
 envío de paquete, 494
 formato de paquete, 493
 indicación de borrado, 497
 indicación de reinicio, 498
 llamada aceptada, 497
 llamada conectada, 497
 llamada entrante, 496
 paquete de control, 495
 paquete REJ, 494
 paquete RNR, 494
 petición de llamada, 496
 petición de registro, 498
 petición de reinicio, 498
 recepción de paquete, 494
PM, 114, 119
polaridad, 89
polinomial, 273, 780
 CRC, 273
 generador de CRC, 778
 propiedades, 273
 representación binaria, 273
POP, 725
portadora común para el sistema telefónico, 237
 AM, 114
 FM, 117, 118
 módem ASK, 155
 PM, 119
 señal digital, 133
potencia, 181
PPP, 328, 437, 445
 autenticación, 442
 campo de control, 439
 campo de datos, 440
 campo de dirección, 440
 campo de protocolo, 439
 comprobación de bucle cerrado, 442
 contraseña, 442
 ejemplo de estados, 447
 estado de autenticación, 438
 estado de establecimiento, 437
 estado de red, 438
 estado de terminación, 438
 estado inactivo, 437
 FCS, 440

 NCP, 445
 negociación de opción, 442
 nivel de enlace de datos, 439
 nivel físico, 439
 niveles, 439
 nombre de usuario, 443
 paquete de configuración, 440
 paquete de terminación de enlace, 441
preámbulo, 361
prefijo de tipo, 828
PRI, 458, 459
 canales, 460
 codificación, 469
 composición, 459, 469
 conexión y topología, 469
 especificaciones del nivel físico, 469
 estándares R y S, 469
 línea de abonado digital, 460
 línea E-1, 460
 línea T-1, 460
 muestreo de canal, 469
 multiplexación, 461
 otras combinaciones de canal, 459
 sobrecarga, 459
 tasa de datos, 459, 469
 trama, 469
 usuarios, 459
primario
 en sondeo, 293
 sondear/seleccionar, 293
 trama de selección, 293
primario-secundario, 290
Primero en Entrar Primero en Salir. *Véase* FIFO
prioridad, *Frame Relay*, 517
prioridades, 517
Procedimiento de Acceso a Enlace, Equilibrado. *Véase* LAPB
Procedimiento de Acceso a Enlace, para Canal D. *Véase* LAPD
Procedimiento de Acceso a Enlace, para Módems. *Véase* LAPM
Procedimiento de Acceso a Enlace. *Véase* LAP
proceso cooperativo, 4
proceso distribuido, 4
procesos, 697
 paritarios, 43
programa de aplicación, 647, 711
 cliente, 712
 gestión, 647
 nivel de transporte, 629
 servidor, 712
propagación, ondas de radio, 194
propagación por visión directa, 196, 201
propagación en el espacio, 196
 EHF, 199
propagación en superficie, 196
propagación ionosférica, 196
protocolo, 4, 43, 317, 320
 asíncrono, 317
 definición, 8, 317
 nivel de enlace de datos, 317
 orientado a bit, 327
 síncrono, 317
protocolo asíncrono, 317
 bit de arranque y parada, 318
 intercalado de trama, 317
 temporización, 318
protocolo estación a estación, 698
Protocolo Común de Gestión de Información. *Véase* CMIP
Protocolo de Autenticación de Contraseñas. *Véase* PAP
Protocolo de Autenticación por Desafío. *Véase* CHAP
Protocolo de Carga. *Véase* BOOTP
Protocolo de Comunicación entre Redes. *Véase* IP
Protocolo de Configuración Dinámica de Computadora. *Véase* DHCP
Protocolo de Control de Enlace. *Véase* LCP
Protocolo de Control de Red. *Véase* NCP
Protocolo de Control de Transmisión. *Véase* TCP
Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Interconexión. *Véase* TCP/IP
Protocolo de Datagramas de Usuario. *Véase* UDP
Protocolo de enlace de datos,
 categorías, 317
 HDLC, 328
 información de control, 320
Protocolo de Interfaz SMDS. *Véase* SIP
Protocolo de Internet de Enlace Serie. *Véase* SLIP
Protocolo de Internet, Siguiente Generación. *Véase* IPv6
Protocolo de Internet. *Véase* IP
Protocolo de Internet, Versión 6. *Véase* IPv6
Protocolo de Nivel de Paquete. *Véase* PLP
Protocolo de Resolución de Direcciones Inverso. *Véase* RARP
Protocolo de Resolución de Direcciones. *Véase* ARP
Protocolo de Transferencia de Archivos Trivial. *Véase* TFTP
Protocolo de Transferencia de Archivos. *Véase* FTP
Protocolo de Transferencia de Hipertexto. *Véase* http
protocolo de transporte, 639
Protocolo Internet/Protocolo Control. *Véase* IPCP
protocolo orientado a bit, 320, 327
 bases, 327
 definición, 320
 historia, 329
 información de control, 320
 popularidad, 327
 ventajas, 327
Protocolo para Control de Mensajes en Internet. *Véase* ICMP
protocolo puerto a puerto, 699
Protocolo Punto a Punto. *Véase* PPP
Protocolo Sencillo de Gestión de Red. *Véase* SNMP
Protocolo Sencillo de Transferencia de Correo Electrónico. *Véase* SMTP
protocolo síncrono, 317, 320
protocolos orientados a bytes, 320
protocolos orientados a caracteres, 320
 control de información, 320
 uso de, 320
 vs orientados a bit, 327
protocolos puerto a puerto del nivel de transporte de TCP/IP, 698
protocolos Triple-X, 499

proyecto 802, 12, 355
 interconexión, 356
 modelo OSI, 356
 modularidad, 356
PSK, 102, 107, 109, 110, 158
 ancho de banda, 109, 158
 ASK, 109
 Bell 201, 160
 Bell 208, 160
 Bell 212, 160
 binario, 109
 Ethernet, 360
 FSK, 109
 limitaciones, 111
 módem, 158
 modulador, 154
 tasa de bits, 109
PSTN, 421
PTI, 494
puente, 595, 597
 aprendizaje, 598
 árbol de expansión, 809
 aspectos para múltiples LAN, 600
 como filtro, 596
 división de red, 596
 función, 595
 lógica, 596
 modelo OSI, 593, 596
 multipuerto, 599
 nivel de enlace, 596
 raíz, 811
 repetidor, 596
 seguridad, 596
 sencillo, 598
 tabla de consulta, 598
 tipos, 598
 transparente, 599
puente sencillo
 características, 598
 desventajas, 598
 funciones de operador, 598
 tabla de dirección, 598
puente transparente
 bucle, 599
 cómo funciona, 599
 dirección de destino, 599
 dirección origen, 599
 tabla original, 599
puerta NOT, 775, 776
 estructura, 776
 generador VRC, 777
 paridad impar, 776
 VRC, 776
puerta XOR, 775
 bits de entrada, 775
 comprobador de VRC, 777
 estructura, 775
 generador de CRC, 778
 generador de VRC, 777
 LRC, 778
 salida, 776
 VRC, 776
puerto, 610
 de protocolo, 698
 número disponible, 698
 TCP/IP, 698
puntero
 LZW, 665
 ventana deslizante en nivel de transporte, 636
punto a punto, 21, 23
 configuración no equilibrada, 329
 definición, 21
 direccionamiento, 293
 malla, 23
Punto de Acceso a Servicio en Destino. *Véase* DSAP
Punto de Acceso a Servicio Fuente. *Véase* SSAP
punto de referencia, 462
 definición, 462
 R, 462
 RDSI, 462
 T, 462
 U, 462
punto de servicio, 631
punto de sincronización, 51, 649, 650
 diálogo, 650
 principal, 649
 secundario, 650
 tipos, 649, 650
puntos de cruce, 418
 conmutación etapa única, 418
 conmutación multietapa, 418
PVC, 427, 512, 539
 ATM, 539
 concepto, 427
 establecimiento, 539
 Frame Relay, 513
 línea dedicada, 427
 X.25, 487, 492

Q.931, 488
QAM, 102, 111, 112
 ancho de banda, 112, 158
 ASK, 111
 Bell 209, 160
 DMT, 255
 error de selección, 162
 módem, 158
 modulador, 154
 variaciones, 111
QoS, 558
 atributos relacionados con el usuario, 558
 categorías, 558
 retardo en la transferencia de celdas, 558
 tasa celdas perdidas, 559
 tasa de celdas con error, 559
 tasa de celdas pico, 558
 tolerancia al retardo en la variación de celdas, 558
 variación en el retardo de celdas, 559
 velocidad de celdas sostenida, 558
quadbit, 111
 Bell 209, 160
 V.22 bis, 161
quinbit, 161

radio AM, 197
radio baliza, 197
radio CB, 197
radio celular, 197
radio FM, 118
Radio Goverment. *Véase* RG
radioaficionado, 197
radio-navegación, 197
RADSL, 248
ranura
 DQDB, 398, 402
 generación en DQDB, 402
ranura de tiempo, 235
 conmutación, 420
 longitud, 232
 TDM síncronoa, 229
RARP, 682, 695, 696
 BOOTP, 713
 como ARP, 696
 computadora sin disco, 696
 dirección IP, 713
 ICMPv6, 796
 método, 696
 necesidad de, 696
 paquete de petición, 696
 primer arranque, 696
 propósito, 696
 servidor, 697
rayo cósmico, 181
rayos gamma, 181
rayos X, 181
RDSI de Banda Ancha. *Véase* B-RDSI
RDSI de Banda Estrecha. *Véase* RDSIBE
RDSI, 11, 453, 456, 477
 acceso del abonado, 457
 ADSL, 478
 analógico, servicios digitales, 455
 añadir tecnología digital, 455
 arquitectura, 462
 banda ancha, 474
 bucle de suscripción digital, 455
 bucle local, 454
 campos de nivel de red, 471
 canal B, 458, 463
 canal D, 458, 463
 canal H, 458
 canales B y D, 465
 canales portadores, 453
 cauce digital, 455, 457
 código de país, 474
 código nacional, 474
 discriminador de protocolo, 471
 elementos de información, 473
 Europa, 477
 futuro, 477
 gestión, 463
 grupo funcional, 460
 historia, 454
 información de control, 458
 integración IDN con servicios de clientes, 456
 interfaz de usuario, 458
 interfaz sencilla, 456
 LAPB, 345
 LAPD, 346
 mensajes, 471
 mensajes de información de la llamada, 472
 mensajes misceláneos, 473
 mensajes para cancelar una llamada, 472
 mensajes para establecer una llamada, 471
 modelo OSI, 462
 módem, 454
 nivel de red, 471
 nivel de enlace de datos, 470
 nivel físico, 464
 niveles, 453
 NT1, 460
 NT2, 461
 número de abonado, 474
 objetivo, 453
 oficina central, 454, 451
 planos, 462
 problema de capacidad, 474
 puntos de referencia, 462
 referencia de llamada, 471
 señalización de canal común, 458
 servicios, 453
 servicios digitales, 456
 servicios digitales *vs* analógicos, 455
 servicios suplementarios, 454
 subdirección, 474
 tasa de datos, 475
 TE2, 462
 teleservicios, 453
 tipos de clientes, 455
 vista conceptual, 457
 voz sobre red analógica, 454
 voz y datos a través de red analógica, 454
 X.21, 152
RDSI-BA, 476
 155.520 Mbps full-dúplex, 477
 622.080 Mbps full-dúplex, 477
 622.080 Mbps simétrico, 477
 acceso asimétrico, 477
 acceso simétrico, 477
 agrupamiento funcional, 477
 centro de información, 476
 especificaciones físicas, 477
 métodos de acceso, 477
 niveles, 477
 puntos de referencia, 477
 servicio de distribución, 475, 476
 servicios, 475
 servicios con control de usuario, 476
 servicios conversacionales, 476
 servicios de mensajes, 476
 servicios de recuperación, 476
 servicios interactivos, 475
 servicios sin control de usuario, 476
 velocidad de datos, 475
 y ATM, 477, 533
RDSI-BE, 475
realimentación, generador de CRC, 778
receptáculo, 140
Receptor Listo. *Véase* RR

receptor, 3, 547, 791
  ventana deslizante del nivel de transporte, 636
  ventana deslizante, 636
Receptor No Preparado. *Véase* RNR
reciprocidad, 663
reconocimiento
  flujo de control, 295
  parada y espera, 295
rechazo. *Véase* REF
rechazo selectivo, 306
  adelante-atrás -N, 309
  buffer, 307
  diferencia de adelante-atrás-N, 309
  mecanismo de selección, 307
  receptor, 306
  reconocimiento perdido, 308
  reconocimiento, 308
  reordenamiento de tramas, 308
  tamaño de ventana, 307
  trama pérdida, 308
Rechazo Selectivo. *Véase* SREJ
red, 4, 513, 610
  categorías, 21, 30
  fiabilidad, 6
  rendimiento, 5
red de celdas, 535
  celda como unidad, 536
  concepto, 534
  conmutación, 536
  coste relativo, 536
  flujo, 535
  multiplexación, 535, 536
  transmisión en tiempo real, 536
  VC, 537
  vs red de paquetes, 534
Red de Área Amplia (WAN), 32
Red de Área Local, 31
Red de Área Metropolitana. *Véase* MAN
red de conmutación de paquetes TCP/IP, 681
red de empresa, 32
red de medio compartido, 367
red de paquetes, 534
  analogía, 534
  entrega, 534
  multiplexación, 534
  retardo, 534
  tráfico, 534
red delgada, 364
Red Digital de Servicios Integrados. *Véase* RDSI
Red en anillo con paso de testigo, 375
Red Integral Digital. *Véase* IDN
red telefónica, 237
Red Telefónica Conmutada Pública. *Véase* PSTN
Red Terminal. *Véase* TELNET
redundancia, 5, 265, 266
  ARQ en ventana deslizante, 304
  codificación trellis, 163
  concepto, 265
  CRC, 270
  doble envío de datos, 265
  hardware, 775
  proceso, 266
  puente, 811
  suma de comprobación, 274
reflexión, 189
refracción, 188
  propagación en el espacio, 196
registro, 776
registro de desplazamiento, 776
  concepto, 776
  definición, 776
  generador de CRC, 778
registro de tiempo, 380
  AMT, 380
  asignación síncrona (SA), 380
  TTRT, 380
REJ, 337, 494
relación paritaria, 23
reloj, 520
relleno con bits
  excepciones, 333
  HDLC, 332
  TDM, 232
rendimiento, 5, 208
  hardware, 5
  medio de transmisión, 6
  multiplexación descendente, 637
  número de usuario, 5
  software, 5
  suma de comprobación, 276
repetidor, 593, 594
  amplificador, 596
  anillo, 27
  árbol, 25
  comunicación vía satélite, 200
  función, 594
  HDSL, 248
  localización, 596
  microondas, 199
  modelo OSI, 593
  nivel físico, 594
  red ampliada, 594
  ruido, 596
reserva de ranura, 400
respuesta negativa a muestrear, 338
respuesta negativa a seleccionar, 338
retardo de propagación, 191
  longitud de onda, 209
  velocidad de propagación, 208
Retorno A Cero. *Véase* RTZ
retransmisión
  ARQ de parada y espera, 300
  ventana deslizante, 302
retraso, en la conmutación por división del tiempo, 420
revestimiento, 189
  fibra óptica, 192
  índice de paso multimodo, 190
RG, 187, 363
  cable coaxial, 187
  velocidades, 187
RG-58, 365
RIPNIC, 800
RJ45, 185
RNR, 337
  trama HDLC S, 338
  Trama S, 337
rotación, 655
RR, 337
  ACK, 337
  muestreo, 337
  significados, 337
  trama HDLC-S, 338
RS-422, 150
  distancia de transmisión, 151
  especificaciones eléctricas, 149
  modo equilibrado, 150
RS-423, 150
RSET, 341
ruido, 157, 193, 263, 289, 359
  ARQ, 300
  ASK, 103, 155
  cable coaxial, 186
  diafonía, 208
  efecto en amplitud, 103
  en onda cuadrada, 140
  ethernet, 358
  fibra óptica, 194
  FSK, 106
  impulso, 208
  par trenzado, 183, 184
  PSK, 109
  QAM, 111
  repetidor, 596
  servicio digital, 240
  STP, 185
  térmico, 208
  transmisión semidúplex, 289
  VLF, 196
ruta, determinación, 603
  circuito virtual, 427
RZ, 87, 88, 90
  cambio de señal, 90
  desventaja, 90
  valores, 90
  y bifase, 91
  y Manchester, 91

SA, 362
SABM, 343
salto, 602
  datagrama, 684
  tiempo de vida del paquete, 604
SAPI, 470
  códigos, 470
  función, 470
SAR, 547
  AAL1, 548
  AAL2, 550
SAS, 387
satélite
  geosíncrono, 201
  telefonía celular, 205
satélites geosíncronos, 201
SD, 375
SDLC, 327
SDSL, 249
SEAL, 553
Secuencia de Comprobación de Trama. *Véase* FCS
  ARQ en rechazo-selectivo, 306
  en ventana deslizante, 305
secundario
  en sondeo, 293
  sondear/seleccionar, 291
segmentación
  definición, 633
  nivel de transporte, 633
segmento, 50, 699
  datagrama IP, 700
  dispositivo que se conecta, 266
  LAN, 362
  TCP/IP, 681, 700
seguridad de red, 6
seguridad, 4, 5, 6
  virus, 6
selección, 291, 342
seleccionar
  direccionamento, 293
  en muestrear/seleccionar, 293
  secundario, 293
  trama HDLC S, 338
semánticas, 8
semidúplex, 28, 29, 46, 157, 328
  BSC, 325
  ENQ/ACK, 291
  HDX, 157
  módem ASK, 155
  requisitos de transmisión, 289
Sendmail, 724
señal
  amplitud, 64
  aperiódica, 62, 64
  compuesta, 72
  degradación, 27
  descomposición, 64, 71, 72
  ejemplo de descomposición, 71
  forma de la onda, 62
  no periódica, 62, 64
  reflexión, 27
  tipos, 61
señal analógica, 61, 64, 85, 101
  características, 62
  continua, 62
  demodulador, 154
  ejemplo, 62
  módem, 154
  sencillo, 64
señal aperiódica, 64
señal compuesta, 71
  distorsión, 208
señal digital, 61, 62, 72, 133
  características, 62
  demodulador, 154
  discretas, 62
  módem, 153
  transmisión, 133
señal HF, 197
señal modulada, 103

señal periódica, 71
descomposición, 71
onda no sinusoidal, 71
onda sinusoidal, 64
señal portadora, 103
señales electromagnéticas, 61
señalización de canal común, 458
señalización en banda, 458
señalización en canal, 458
señalización fuera de banda, 458
anillo con paso de testigo, 375
Ethernet, 360
FDDI, 383
separador, 168
serie 201, 160
serie 202, 160
serie 208, 160
serie 209, 160
serie 212, 160
series 103/113, características, 159
series de Fourier, 771, 772
cálculo de fase y amplitud, 772
coeficientes, 772
descomposición de señal, 772
fórmula, 772
series V, 11
series V, 139
series X, 11, 139
series X.400, 666
servicio analógico alquilado, 239
servicio conmutado analógico, 239
Servicio de Datos Digitales. *Véase* DDS
Servicio de Directorios (DS), 671
como bases de datos, 671
como DUA, 671
mecanismos de acceso, 671
usuario, 671
Servicio de Transporte Orientado a Conexión. *Véase* COTS
Servicio Orientado a Conexión, TCP, 713
Servicio Telefónico, ADSL, 246
servicios alquilados, 239
Servicios Comunes para la Gestión de la Información. *Véase* CMIS
Servicios de datos multi-megabit conmutados. Véase SMDS
Circuito Virtual Conmutado. *Véase* SVC
servicios conmutados, 239
servicios de directorios, 54
servicios de información, 7
servicios digitales, 240
coste, 241
ruido, 240
tipos, 241
ventajas sobre los analógicos, 240
servicios financieros, 7
servicios portadores, 453
niveles del modelo OSI, 453
redes, 453
Servicios Sin Conexión, IP, 683
servicios suplementarios, 453
servicios T fraccionales, 244
servidor, 712
Servidor de Multienvío Desconocido. Véase BUS
Servidor LANE. *Véase* LES
SFD, 361
función, 361
SHF, 197
signo y magnitud, 97, 765
bit más significativo, 765
rango, 766
símbolo repetido, 664
simplex, 28, 29, 46
módem ASK, 155
módem FSK, 157
sin retorno a cero. *Véase* NRZ
Sin Retorno a Cero Invertido (NRZ-I), 88
Sin Retorno al Nivel de Cero. *Véase* NRZ-L
sincronización, 88, 90
AMI, 93
B8ZS, 93
codificación bifase, 89
como parte de la señal, 89
de byte, 137
en BSC, 321
falta de, 88
línea de reloj paralelo, 88
Manchester diferencial, 91
nivel de byte, 135
solución, 88
transmisión asíncrona, 135
sintaxis, 8
SIP, 405
nivel 1, 407
nivel 2, 407
nivel 3, 407
SMDS, 405
sistema binario, 756, 757
a hexadecimal, 762
a octal, 762
a otros sistemas, 763
de otros sistemas, 762
peso y valor, 757
símbolos, 757
sistema de almacenamiento de archivos, 668
Sistema de Manejo de Mensaje. *Véase* MHS
Sistema de Nombres de Dominio. *Véase* DNS
sistema de numeración, 760
sistema decimal, 756, 757
a binario, 762
a complemento a dos, 767
a complemento a uno, 765
a hexadecimal, 762
a octal, 762
a otro sistema, 762
a signo y magnitud, 766
de otro sistema, 761
peso y valor, 757
símbolos, 757
sistema hexadecimal, 755, 758
a binario, 764
peso y valor, 758
representación de números binarios, 759
símbolos, 758
sistema octal, 755, 757
a binario, 764
peso y valor, 758
representación de números binarios, 757
símbolos, 758
sistema operativo
conexión local, 717
NVT, 719
sistema telefónico, 237
ancho de banda, 239
ATM, 246
conmutador, 239
jerarquía, 237, 239
línea de servicio, 237
líneas condicionales, 239
medios, 181
multiplexación, 237, 239, 246
portadoras, 237
RDSI, 246
servicio alquilado analógico, 239
servicio conmutado analógico, 239
servicio de portadoras común, 237
servicio digital, 238, 240
servicios analógicos, 237, 239
SONET, 246
sistemas de directorios (DS), 666
DUA, 671
sitio web, 732
SLIP, 437
SMDS, 397, 405
arquitectura, 405
ATM, 551
cabecera, 407
características, 407
cola, 407
como alternativas a líneas T, 405
conexión y acceso, 405
datos a ráfagas, 408
definición, 405
direccionamiento, 407
encaminadores, 405
LAN, 407
MAN, 407
multidifusión, 408
razón para, 405
SIP, 405
tasa de datos, 408
WAM, 407
SMI, 728
SMTP, 721
buzón del correo del usuario, 723
concepto, 723
dirección de parte local, 723
direccionamiento, 723
HTTP, 729
intercambiadores de correo, 724
limitaciones, 725
MTA, 724
nombre de dominio, 723
retransmisión, 722
sistema de direcciones, 723
SNI, 487
SNMP, 13, 726, 728
agente, 726
componentes, 727
concepto, 726
función, 726
fundamentos de la gestión, 727
gestor, 726
GetNextRequest, 728
GetRequest, 728
GetResponse, 728
programa cliente, 726
programa servidor, 726
SetRequest, 729
SMI y MIB, 728
trap, 729
sobrecarga
en TDM asíncrona, 235
TDM, 232, 235
Sociedad de Internet, 13
SOH, 749
en BSC, 323
XMODEM, 318
sondear/seleccionar, 291
direccionamiento, 293
mecanismo, 291
multipunto, 292
primario, 292
secundario, 292
seleccionar, 292
sondear, 293
terminación, 295
sondeo (*poll*), 334
en sondear/seleccionar, 291
trama HDLS S, 337
SP, 750
SPDU, 650
formato, 650
identificador de longitud, 650
información de grupo de parámetro/información de parámetro, 650
SREJ, 337
SSAP, 357
STP, 185
anillo con paso de testigo, 377
apantallamiento, 185
coste, 185
diafonía, 185
materiales, 185
y UTP, 185
STX, 749
BSC, 323
trama de datos BSD, 322
transparencia de datos, 326
Subnivel de Convergencia. *Véase* CS
Subnivel de Reensamblado y Segmentación. *Véase* SAR
subred, 690, 691
función del encaminador, 691
identificador de estación, 691
identificador de red, 691
necesidad para, 690
subtractor, 151
suma de comprobación, 266, 274
campo, 275
complemento, 274

comprobador, 275
emisor, 274
error indetectable, 276
generador, 274
nivel de transporte, 632
niveles superiores, 266
procedimiento, 274
receptor, 275
redundancia, 274
rendimiento, 276
UDP, 699
valor en el receptor, 275
Súper Autopista de Información, 11
supergrupo, 239
sustitución, 654
sustitución 8-cero bipolar. *Véase* B8ZS
sustitución monoalfabética, 654
sustitución polialfabética, 654
SVC, 425, 513, 514, 539, 541
ATM, 539, 541
concepto, 539, 541
DTE, 513
Frame Relay, 513
X.25, 487, 492
SYN, 750

TA, 462
TE2, 462
tabla de encaminamiento, 603
conmutación de circuitos, 427
encaminamiento basado en el estado de enlace, 621
velocidad de información comprometida, 523
tamaño de paquetes de *Frame Relay*, 519
tarjeta de interfaz de red. *Véase* NIC
tasa de accesos, 522
tasa de bit, 74, 102, 155
ASK, 155
dibit, 113
en diferentes métodos de codificación, 158
métodos para comparar codificaciones, 158
y baudios en FSK, 157
T-CONNECT, 641
TCP, 638, 681, 683, 699, 700
bit ACK, 701
bit de reinicio, 701
bit de sincronización, 701
bit FIN, 701
bit PSH, 701
bit urgente, 701
campo de control, 701
campo de longitud de cabecera, 701
campo de opciones, 701
campo de tamaño de ventana, 701
campo reservado, 701
circuito virtual, 701
comparación de segmento con UDP, 700
confirmación de conexión, 701
confirmación de terminación, 701
datagrama, 699
dirección de puerto de destino, 700
dirección de puerto origen, 701
empaquetamiento, 54
entrega extremo a extremo, 697
establecimiento de conexión, 701
e IP, 683
función, 699
necesidad para cabecera de extensión, 700
número de confirmación, 701
número de secuencia, 701
OSI, 54
petición de conexión, 701
petición de terminación, 701
protocolo de nivel de transporte, 54, 682
protocolo puerto a puerto, 699
puntero urgente, 701
reconocimiento de terminación, 701
reordenación de segmento, 700
segmentación, 700
segmento, 700
suma de comprobación, 701
vs UDP, 700
TCP/IP, 13, 681, 682
ARPA, 681
ARPANET, 681
computadora, 681
concepto de interconexión, 681
descripción, 681
encapsulado, 682
estructura, 54
fiabilidad, 683
formato de datagrama, 684
Internet, 681
jerarquía, 54
modelo OSI, 54, 682, 712
nivel de aplicación y modelo OSI, 711
nivel de aplicación, 54
nivel de enlace de datos, 682
nivel de red, 54, 682, 683
nivel de transporte, 54, 682, 711
nivel físico, 682
niveles, 54, 682
NVT, 719
pasarela de correo electrónico, 722
protocolos, 695
protocolos de red, 695
protocolos de transporte, 697
red, 681
terminación de conexión, 698
transferencia de archivos, 721
unidad de datos, 682
T-DATA, 641
T-DISCONET, 641
TDM, 224, 228, 229
analogía, 228
asignación de ranura de tiempo, 232
asíncrono, 224, 228, 233
cálculo de trama, 232
canal, 229
concentrador, 224
concepto, 228
concepto de conmutación, 229
cuándo utilizar, 228
debilidad, 230
eficiencia, 232
enfoque de datagrama, 424

entrelazado, 229, 231
estadística, 224
inserción de bits, 232
orden de la ranura de tiempo, 232
ranura de tiempo, 229
ranuras vacías, 230
síncrono, 224, 228, 229
síncrono *vs* asíncrono, 233
sistema telefónico, 237
sobrecarga, 232
tasa de datos, 233
trama, 229
variación de las velocidades de los dispositivos, 232
TDM asíncrono, 224, 228, 232
asignación de rodajas de tiempo, 232
ATM, 536
capacidad, 235
debilidad, 235
definición, 232
direccionamiento, 235
eficiencia, 233, 235
líneas de entrada, 233
longitud de rodajas de tiempo, 235
necesidad de, 232
rodajas de tiempo de longitud variable, 235
velocidad de datos, 233
ventaja, 233
TDM estadístico. *Véase* TDM asíncrono
TDM síncrono. *Véase* TDM
TE1, 461
DTE, 462
TA, 462
TE2, 462
tecla on-off. *Véase* OOK
tecnología de la información, 10
Teflón, 192
TEI, 470
Telcordia, 12
telecompra, 7
telecomunicaciones, 3, 10
teleconferencia, 7
telefonía celular, 8, 202
banda, 203
encaminador, 205
frecuencia de transmisión, 202
gestión, 202
integración con satélites y PCs, 205
localización de una llamada, 204
MTSO, 203, 204
oficina de células, 203
potencia de transmisión, 203
radio, 203
recepción de llamada, 204
seguimiento, 202
señal de consulta, 204
servicio digital, 204
trisector, 205
telefonía, 3
teléfono móvil, 197
telegrafía, 3
teleservicios, 453
niveles del modelo OSI, 453
servicios portadores, 453
televisión, 3
TELNET, 717, 718, 734
acceso remoto, 718
cliente, 717
controlador de pseudoterminal, 719
servidor, 717
temporización, 8
temporizador
adelante-atrás-N, 305
FDDI, 380
Temporizador de Espera de Testigo (THT), 380
Temporizador de Rotación de Testigo (TRT), 380
terbo, 163
terminación de conexión, 639
nivel de transporte, 639
PVC, 427
SVC, 425
trama de control BSC, 326
terminador, 187
Terminal de Red 1. *Véase* NT1
Terminal de Red 2. *Véase* NT2
Terminal Virtual de Red. *Véase* NVT
Terminal Virtual. *Véase* VT
testigo, 372
DQDB, 400
paso, 372
perdido, 374
T-EXPEDITED-DATA, 641
texto plano, 653
TFTP, 721
escritura en archivo, 721
lectura de archivo, 721
necesidad para, 721
tiempo de propagación, 208
tiempo de respuesta, 5
tiempo de vida de un paquete, 604
tipos de estaciones, 328
tipos de red, 21
tono dual, 422
topología, 22
topología del bus, 46
sondeo/selección, 291
para redes grandes, 413
topología en anillo, 46
topología en estrella, 45
topología en estrella, para redes grandes, 431
topologías híbridas, 28
TP, 537
TP0, 640
TP1, 640
TP2, 640
TP3, 640
TP4, 640
TPDU, 640
campo de asignación de crédito, 641
campo de parámetros variable, 641
dirección de destino, 641
dirección origen, 640
longitud, 640
número de secuencia, 641
traducción, 651
método directo, 651
método indirecto, 652

nivel de presentación, 52
tabla de conversión, 651
tráfico con control de congestión, 803
tráfico controlado sin congestión, 804
estándar no propietario, 9
señal aperiódica, 64
tráfico, 559
trama, 46, 322, 507, 510, 512, 517, 518, 519, 525
BSC, 322
control BSC, 322
datos BSC, 322
HDLC, 330
Red en anillo con paso de testigo, 375
TDM asíncrona, 234
TDM, 229, 230
trama ACK, 303
trama cancelar o cancelación
propósito, 377
red en anillo con paso de testigo, 377
Trama de Confirmación Negativa. *Véase* NAK
Trama de Control, 325
Trama de Control. *Véase* FC
BSC, 321
trama de datos, 322, 326, 337
trama de datos/órdenes, 375
trama de testigo
anillo con paso de testigo, 377
campos, 377
trama I
campo de control, 334
campo de información, 336
HDLC, 331
N(S) y N(R), 334
objetivo, 337
retransmisión, 334
X.25, 488
trama multibloque, 323
trama no numerada. *Véase* trama U
trama S, 337
campo de control, 334
campo de información, 336
campo N(R), 334
campo N(S), 334
control de errores y flujo, 334
función, 337
Nr, 337, 338
reconocimiento, 334
subcampo de control, 337
tipos, 337
X.25, 488
trama SEL, 295
trama supervisora. *Véase* trama S
trama U, 339
campo de control, 334
campo de información, 340
códigos, 335, 338
desconexión, 340
establecimiento de modo, 339
función, 338
gestión del sistema, 331
HDLC, 338
intercambio no numerado, 340
misceláneos, 341
modo extendido, 335
órdenes y respuestas, 339
PPP, 439
subcampo de control, 339
tipo y función, 335
tipos de, 338
X.25, 488
transceptor, 363
Ethernet, 363
función, 363, 364
interruptor, 364
microondas, 199
transferencia de archivos, 720
Transferencia de Archivos, Acceso y Gestión. *Véase* FTAM
transformación, 629, 761
transformada de Fourier, 774
espectro, 774
frecuencias, 774
propósito, 774
transmisión, 61, 167, 537
disciplina de la línea, 290
información de control, 152
serie, 133
transmisión ascendente
cable módem, 168
definición, 165
módem de 56K, 166
Transmisión Asíncrona Bloqueante. *Véase* BLAST
transmisión asíncrona, 133, 135
Bell, 161
temporización, 135
ventajas, 135
transmisión de datos digitales, 133
transmisión de datos, 11
transmisión de datos, 3
características, 3
entrega, 3
exactitud, 3
temporización, 3
transmisión en tiempo real, 3
transmisión entre redes, 593
enrutador, 623
Proyecto 355, 774
transmisión multitrama, MSC, 325
transmisión orientada a conexión, 638
etapas, 638
transmisión paralela, 133
definición, 133
desventajas, 135
error en un único bit, 263
límite de distancia, 135
mecanismos, 134
ventaja, 135
transmisión serie, 12, 135
clases, 133
definición, 135
dispositivo de conversión, 135
tipos, 135
ventaja, 135
transmisión sin conexión, 638
transmisión síncrona, 133, 136
flujo de bits, 136
función del receptor, 136

sincronización, 136
ventaja, 137
transparencia de datos, 326
BSC, 326
datos *vs* información de control, 326
FDDI, 383
método en BSC, 326
Red en anillo con paso de testigo, 376
región de marcado, 326
relleno de bytes, 332
transparencia, 326
trap, 727
traza del dominio de frecuencia, 71, 73
trenzado
ruido, 183
ventajas, 184
tribit, 109, 111
Bell 208, 160
trisector, 205
troncal, bus, 26
troposfera, 196
TSI, 419
T-UNIT-DATA, 642
TV
cable módem, 168
RG, 187

UA, 667, 722, 723
funciones, 722
interfaz de usuario, 723
programas, 723
UDP, 54, 698, 699
campo de longitud total, 698
comparación con TCP, 698, 700
datagrama múltiple, 699
dirección de puerto origen, 698
dirección del puerto destino, 698
e ICMP, 699
fiabilidad, 697
función, 699
paquete, 698
protocolo de nivel de transporte, 54, 682
protocolo paritario, 698
qué no se puede hacer, 699
seguridad, 697
suma de comprobación, 699
TCP, 697
UHF, 197
UNI, 512, 537, 539
Unidad de Acceso a Multiestación. *Véase* MAU
Unidad de Asignación del Medio. *Véase* MAU
Unidad de Datos de Protocolo de Puente. *Véase* BPDU
Unidad de Datos de Protocolo de Sesión. *Véase* SPDU
Unidad de Datos de Protocolo de Transporte. *Véase* TPDU
Unidad de Datos del Protocolo. *Véase* PDU
Unidad de Servicio de Canal. *Véase* CSU
Unidad de Servicio de Datos / Unidad de Servicio de Canal. *Véase* (DSU/CSU)
Unidad de Servicio Digital. *Véase* DSU
Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), 10
URL, 731
alias, 732
camino de archivo, 732
componentes, 732
computadora, 732
documento dinámico, 737
método, 732
número de puerto, 732
recuperación de documento, 732
UTP, 182, 185, 365, 366
categorías, 184
conector, 185
ventajas, 184

V.29, 162
V.32, 11, 162
manejo de errores, 163
método de modulación, 162
V.32bis, 163
V.32terbo, 163
V.33, 11
características, 164
y V.32, 163
V.34, 164
V.42, 164
V.42bis, 164
V22bis, 161
vaina, 186
fibra óptica, 193
valor de reto, 445
red celular, 537
VDSL, 249
velocidad de acceso, 522
T-1, 523
velocidad de datos, 6
Ethernet, 360
factores que influencia, 154
FDDI, 383
fibra óptica, 194
TDM, 233
velocidad de información comprometida, 522
cálculo, 524
velocidad de muestreo, 98
PAM, 98
PCM, 98
teorema de Nyquist, 99
velocidad de transmisión, 154
ventajas, 510
ventana del emisor, 298
ventana del receptor, ventana deslizante, 298
ventana deslizante, 295, 296, 297, 298, 299
adelante-atrás-N, 304
características del nivel de transporte, 636
comparación, 309
eficiencia, 297
mecanismo del emisor, 297
mecanismo, 296
nivel de transporte, 635, 641
numeración de trama, 302
puntero, 636
requisito de secuencia, 305

sistema de numeración, 297
tamaño de la ventana, 297, 300
ventana del emisor, 297
ventana del receptor, 298
VHF, 197
vídeo bajo demanda, 8
compresión con pérdida, 666
compresión relativa, 665
videoconferencia, 7
violación, 93
B8ZS, 95
J, 375, 377
K, 375, 377
virus, 2, 6
VLF, 194, 196
VOFR, 526
PCM, 526
voltio, 64
Voz a través de *Frame Relay*. *Véase* VOFR,
voz, 181
digitalizada en RDSI, 456
transmisión, 181
VOFR, 526
VP, 537
VPI, 538, 541
conmutador VP, 538
conmutador VP, 541
conmutador VPC, 542
NNI, 539
UNI, 539
VRC, 266, 267, 268
bit redundante, 267
código Hamming, 278, 281
comprobación de paridad, 267
comprobador, 268, 777
CRC, 270
detección de errores, 267
error en un único bit, 268, 277
fiabilidad, 267
generador, 777
hadware, 775
número impar de errores, 267
número par de errores, 267
paridad impar, 267
paridad par, 267
puerta XOR, 777
rendimiento, 268
y LRC, 778
VT, 669, 670, 750
computadora remota, 670
comunicación remota, 670
formato intermedio, 670
software local, 670
transformación de *software*, 671
vuelta atrás, 163

WAN, 32, 511, 533, 559
deficiencias, 507
Frame Relay, 511
medios, 33
red empresarial, 33
SMDS, 407
tamaño, 32
TCP/IP, 681
watio, 64
WDM, 227
concepto, 227
fibra óptica, 227
FTTC, 249
mecanismo, 227
World Wide Web (WWW), 1, 732
documento activo, 738
documento dinámico, 737
documento estático, 735
hipertexto e hipermedia, 733
página principal, 733
punteros, 733
tipos de documento, 735

X, 510
X.3, 499
X.21, 152, 488
circuitos de control, 152
funciones de las patillas, 152
interfaz, 466
sincronización de bits, 152
sincronización de byte, 152
X.21bis, 488
X.25, 11, 487
asignación LCN, 492
campos de nivel de trama, 488
categorías, 509
circuito virtual, 490
comparación de nivel, 515
comprobación de errores, 508
comprobación estación a estación, 508
comprobación origen a receptor, 508
confirmación de borrado, 498
confirmación de interrupción, 498
confirmación de registro, 498
confirmación de reinicio, 498
desconexión de enlace, 490
dirección de nivel de trama, 489
DTE y DCE, 487
ejemplo de comprobación de errores, 508
enfoque de circuito virtual, 487
establecimiento de enlace, 487
facilidades, 487, 496
fase de nivel de trama, 487
formato de paquete de control, 495
Frame Relay, 510
función del nivel de red, 492
GFI, 493
indicación de reinicio, 498
interrupción, 498
llamada aceptada, 497
llamada conectada, 497
llamada entrante, 496
necesidad para la comprobación
de errores, 508
nivel de paquete, 490
niveles, 488
nivel físico, 488
niveles OSI, 488

PAD, 499
paquete de control, 487
paquete RR, 494
petición de llamada, 496
petición de registro, 498
petición de reinicio, 498
protocolos relacionados, 498
PVC, 492
qué describe, 487
recepción preparado, 495
recepción no preparado, 495
rechazo, 495
sobrecarga, 508
SVC, 492
TDM asíncrono, 487
tráfico, 508
transferencia de datos, 489
visión conceptual, 487
X.3, 499
X.21, 152
X.28, 499
X.29, 500
X.28, 499
X.29, 500
X.121, 498
X.400, 11
X.500, 11
XID, 341
XMODEM, 318
XOR, 775

YMODEM, 319

ZMODEM, 319